350
ابريل
2008



عالم المعرفة

فلسفة الكوانتم

فهم العلم المعاصر وتأويله

تأليف: رولان أومنيس
ترجمة: أ. د. أحمد فؤاد باشا
أ. د. يمنى طريف الخولي



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923-1990

350

فلسفة الكوانتم

فهم العلم المعاصر وتأويله

تأليف: رولان أومنيس

ترجمة: أ. د. أحمد فؤاد باشا

أ. د. يمنى طريف الخولي



العنوان الأصلي للكتاب

Quantum Philosophy

Understanding and Interpreting Contemporary Sciencce

by

Roland Omnes

(English Translation by: Arturo Sangalli)

Princeton University Press , USA 2002.

طبع من هذا الكتاب ثلاثة وأربعون ألف نسخة

ربيع الأول ١٤٢٩ - أبريل ٢٠٠٨



سلسلة شهرية يصدرها
المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب

سعر النسخة

الكويت ودول الخليج	دينار كويتي
الدول العربية	ما يعادل دولارا أمريكيا
خارج الوطن العربي	أربعة دولارات أمريكية

الاشتراكات

دولة الكويت

للأفراد	**15** د.ك
للمؤسسات	**25** د.ك

دول الخليج

للأفراد	**17** د.ك
للمؤسسات	**30** د.ك

الدول العربية

للأفراد	**25** دولارا أمريكيا
للمؤسسات	**50** دولارا أمريكيا

خارج الوطن العربي

للأفراد	**50** دولارا أمريكيا
للمؤسسات	**100** دولار امريكي

تسدد الاشتراكات مقدما بحوالة مصرفية باسم المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب وترسل على العنوان التالي:

السيد الأمين العام
للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
ص.ب: *28613* - الصفاة - الرمز البريدي*13147*
دولة الكويت
تليفون: ٢٤٣١٧٠٤ (٩٦٥)
فاكس: ٢٤٣١٢٢٩ (٩٦٥)
الموقع على الإنترنت:
www.kuwaitculture.org.kw

ISBN 978-99906-0-236-4

رقم الإيداع (٢٠٠٨/٠٥٧)

المحتوى

تصدير المترجمين: 7

تمهيد: 13

توطئة: 17

الجزء الأول: **الميراث** 27

مقدمة: 29

الفصل الأول: **المنطق الكلاسيكي** 33

الفصل الثاني: **الفيزياء الكلاسيكية** 53

الفصل الثالث: **الرياضيات الكلاسيكية** 81

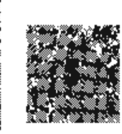
الفصل الرابع: **فلسفة المعرفة الكلاسيكية** 99

الجزء الثاني: **التشظي** 117

مقدمة: 119

الفصل الخامس: **الرياضيات الصورية** 123

الفصل السادس: **فلسفة الرياضيات** 153



المحتوى

المحتوى

الفصل السابع: الفيزياء الصورية 171

الفصل الثامن: إبستمولوجيا الفيزياء 197

الجزء الثالث: عودة من الصوري إلى المرئي حالة الكوانتم 211

مقدمة: 213

الفصل التاسع: بين المنطق والفيزياء 217

الفصل العاشر: إعادة اكتشاف الحس المشترك 241

الفصل الحادي عشر: من القابل للقياس إلى غير القابل للقياس 255

الفصل الثاني عشر: عن الواقعية 277

الجزء الرابع: وضع التساؤل المطروح والمنظورات 301

الفصل الثالث عشر: بداية مستجدة 303

الفصل الرابع عشر: ما العلم؟ 315

الفصل الخامس عشر: المنهج 327

الفصل السادس عشر: منظورات تتلاشى 345



معجم المصطلحات: 361

تصدير المترجمين

«التجربة تؤدي إلى النظرية، والنظرية الكوانتية بدورها تستطيع الآن إحياء إطار الحس المشترك الذي أجريت فيه التجربة، والذي نعيش فيه حيواتنا»

المترجمان

هذا كتاب في فلسفة العلم... بكل ما في الكلمة من معنى، معنى كلمة فلسفة ومعنى كلمة علم على السواء، إذ يحاول تقديم إجابة مستجدة ومثمرة، عن السؤال المحوري في الفلسفة وفي العلم معا، الذي حيّر الفلاسفة والعلماء قرونا عديدة. إنه السؤال بشأن طبيعة المعرفة الإنسانية بهذا العالم الطبيعي الذي يحيا فيه الإنسان، المعرفة التي تمثل الفيزياء صورتها الناضرة المشروعة، والمتفجرة ألقا ونجاحا جبارا يتعاظم شأنه يوما بعد يوم إلى غير نهاية.

وفي هذا يصحبنا المؤلف في رحلة شائقة بالغة الجرأة، تبدأ من مدارس الفلسفة الإغريقية القديمة، ورؤى فلاسفة الطبيعة السابقين على سقراط، ثم التالين من فلاسفة ومناطقة وأهل رياضيات وعلماء مُنظرين أو تجريبيين.... وخطوة إثر خطوة، نصل إلى خضم الحياة النابضة في مختبرات العلوم النووية في مطالع القرن الحادي والعشرين، والأسئلة الفلسفية الملحة التي لا تفارق العلماء أبدا، فتكشف جدليتها عن جوهر تطور الأفكار المتعلقة بحقيقة عالم الطبيعة ومسببات أحداثه وظاهراته المختلفة.



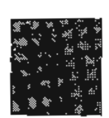
إنه استعراض ممتع.. عميق وشامل لتاريخ الفلسفة والمنطق والرياضيات والفيزياء، يعلمنا كيف أن العلم والفلسفة يتحاوران ويتجادلان ليمثلا وحدة معرفية متكاملة لا تنفصم عراها، فلا يفهم أحدهما حق الفهم بمعزل عن الآخر وتطوراته. وسوف تسفر الرحلة في خاتمة المطاف عن أسس جديدة لنظرية المعرفة التي تستطيع أن تفسر لنا كيف يمكننا نحن البشر أن نفهم صميم العالم الذي نحيا فيه، ونعايشه بحسنا المشترك الذي لا يمكن أبدا التهوين من شأنه، وهو منطلق وجودنا العاقل في هذا الكون أصلا.

ولا يمل المؤلف من تكرار محاولة التوفيق بين مبادئ الحس المشترك ومبادئ الطبيعة (*)، من زوايا عديدة، مؤكدا أن العلم، برغم جوانبه الصورية، يحمل في أعطافه نظرية للمعرفة تستطيع أن تفسر لنا كيف يمكننا نحن البشر أن نفهم العالم ونعيش فيه ونتآلف معه، ومع علمنا به الذي هو أعظم تجليات حضارتنا الإنسانية وأنضر وجوه وجودنا في ذاك العالم، بعقلنا الفعال الذي أنجز ما هو جدير بكل اعتبار.

* * *

وقد عرض المؤلف رولان أومنيس، عالم فيزياء الكوانتم البارز، رؤيته الفلسفية الجديدة في إعادة بناء أساسيات المعرفة العلمية، بأسلوب واضح، نابض بالحيوية والجمال وزخم الثراء المعرفي بالفلسفة وبالعلم على السواء، وهوامش من سائر جوانب الحضارة الغربية الأخرى.. من آداب وفنون ولاهوت وسياسة.... فينجح حقا في تبصير وتنوير القراء غير المتخصصين في العلم أو في الفلسفة. وفي هذا يعمل المؤلف على استغلال مناحي الالتقاء الحميم بين الفلسفة والعلم من أجل تجلية الصورة الضبابية للصلة بين عالم الفيزياء الكلاسيكية وعالم الكوانتم، وتفكيك الصورية formalism التي انطلقت من العلوم الأساسية، ثم طغت وبغت في أعطاف النسق العلمي، عاصفة بكل ما هو حدسي ومحسوس وواقعي ويسهل تمثله وتمثيله؛ حتى أصبح العلم الفيزيائي صوريا تماما، غريبا ومغتربا عن عالمنا العيني المعيش.

(*) نذكر في هذا الصدد الكتاب الشهير لأستاذنا الدكتور فؤاد زكريا «نظرية المعرفة والموقف الطبيعي للإنسان»، إذ يهدف أيضا إلى إثبات أن الفلسفة مهما تطورت معالجاتها لنظرية المعرفة وعلت في مدارج التجريد، لن تلغي أبدا موقف الحس المشترك ولن تناقض أساسياته [المترجمان].



وكمثال نافذ لمنصات انطلاق هذا الكتاب المستقبلي نحو اللقاء الحميم والعناق بين الفلسفة والعلم، نلاحظ أن المنطق هو حصن الفلسفة الحصين وعتادها المذخور، وهو طبعا أساس العقلنة وشرطها الضروري. وقد قفز المنطق قفزته الجبارة في شكل المنطق الرياضي الحديث. نظرية الفئات التي وضعها غوتلوب فريغه ثم رعاها ونماها برتراند رسل، هي أساس من أسس المنطق الحديث، وهي في جوهرها نظرية لتعقيل إدراك الواقع والوقائع. وهذا الكتاب يكشف كشفا عبقريا في وضوحه وبساطته، وهو أن نظرية الفئات لا تصلح تماما للتطبيق على عالم الكوانتم! فهل هو عالم لا عقلاني لا منطقي؟! لابد من التأويل. الصورية هي السبب، ولا بد من تفكيكها.

هكذا كان هذا الكتاب يقدم تأويلا للعلم المعاصر يساعد على فهمه، واستكناه حقيقة رسالته التي تبدو مشفرة غامضة بفعل الصورية المفرطة، وكان المؤلف يجاهر بأن قطاعا كبيرا من هذا الكتاب يقتفي أصول الصورنة formalizationوالنزوع نحو المقاربة الصورية، وضرورتها في المنطق الرياضي وفيزياء النسبية والكوانتم. وذلك توطئة وتمهيدا لتبيان كيف يمكن تفكيك هذه الصورية والتغلب عليها، واستعادة العلم الفيزيائي إلى عالمنا الإنساني الحميم كما يتدفق في سياق خبرتنا العادية، وكما يواجهه ويتلقاه حسنا المشترك.

ولئن كان «ترويض اللا نهاية» أحد العناوين الفرعية الجمة في هذا الكتاب، فيمكن القول إن الكتاب أصلا يمثل محاولة بالغة الجدية والعمق لترويض العلم بأسره الرياضي والفيزيائي؛ حتى ينجح في التقريب بين دور الحس المشترك في تعريف العالم الكلاسيكي، وبين ما تقوم به الرياضيات الصورية المعقدة حاليا لوصف العالم في أساسياته الأولية بدقة فائقة، فنجد الحس المشترك والواقع الكوانتي متوافقين، بحيث يمكننا البدء في النظر إلى العالم بأي منهما، كل منهما يفضي في النهاية إلى الآخر: التجربة تؤدي إلى النظرية، والنظرية الكوانتية بدورها تستطيع الآن إحياء إطار الحس المشترك الذي أجريت فيه التجربة، والذي نعيش فيه حيواتنا. وهكذا نقهر غربة العلم الفيزيائي و نسترده لكي يحيا معنا في رحاب عالمنا، وهو أصدق من يحمل الخبر عنه.

سوف يثبت كتاب «فلسفة الكوانتم» أنه مرجع أساسي لمقررات مثالية في فلسفة العلم وتاريخه، وأنه رفيق لا غنى عنه لكل مثقف معني بالفلسفة أو بالعلم أو بفلسفة العلم، في تطوراتها الراهنة والمستقبلية.

* * *

ولكن لا مندوحة عن الاعتراف بأنه ليس كتابا سهل التناول، فهو يهدف ـ كما أشرنا ـ إلى تنوير القارئ غير المتخصص في العلم أو في الفلسفة، وتبصيره بمستويات عليا وعميقة من فلسفة العلم؛ لذلك يحتاج إلى التركيز في قراءته وتفهمه. ونحن من جانبنا لم ندخر وسعا ولم نألُ جهدا في مراجعة الترجمة مرات عديدة لجعلها أوضح وأسلس، بقدر ما هي دقيقة ومطابقة، بقصارى المستطاع، وتزويدها بالهوامش والحواشي الشارحة كلما اقتضى الأمر، من أجل مزيد من التنضيد والتوضيح أمام القارئ. وفي بضعة هوامش قليلة كانت ثمة ضرورة للإشارة إلى إسهام حضارتنا العربية في الميدان المعني، لكي تكتمل الصورة أمام القارئ. ذلك أنه للأسف، لا تفوتنا ملاحظة أن المؤلف ينجز كل هذا في انغلاق ممقوت على الذات، يركز فقط على رحلة الحضارة الغربية، وكأن ما عداها لا وجود له، لا على خريطة العلم ولا حتى على خريطة العالم! فهل تغفر له طبيعة الموضوع: فلسفة الكوانتم؟

وقد تفكرنا مليا في ترجمة مصطلح «الكوانتم». إن ما تعانيه الثقافة العربية من الافتقار إلى وحدة المصطلح في مواطن عديدة ذات أهمية وخطورة يجعلنا نجد هذا المصطلح في المؤلفات العربية بصور شتى، فيقال عن فيزياء الكوانتم: فيزياء الكم، الفيزياء الكمية، الفيزياء الكوانتية، فيزياء الكمومية. وقد آثرنا تعريبه، بمعنى الإبقاء عليه في العربية بصيغته الأصلية «الكوانتم» التي هي ليست إنجليزية بل كلمة لاتينية تعني «مقدار». وأبسط ما يقال في هذا أن الإبقاء على المصطلح «كوانتم» سوف يتفادى اللبس مع كلمة «كمية quantity» ومشتقاتها.

وبالمثل تفكرنا كثيرا، وقلبنا الأمور من كل الوجوه، ولم نتساهل قط حين وضع المقابل العربي لأي من المصطلحات العديدة الجمة - العلمية أو الفلسفية - التي يزخر بها هذا الكتاب، وبعضها يرد هنا، لأول مرة، في



حديث موجه للقارئ العربي غير المتخصص. و بفضل الله استطعنا وضع مقابل عربي بدا ملائما، لكل من هذه المصطلحات، مع استثناءات قليلة لبضعة مصطلحات كان من الضروري - لسبب أو لآخر - تعريبها والإبقاء على صيغتها الأصلية، كشأن «الكوانتم».

لقد استغرق هذا الكتاب منا وقتا وجهدا، أكثر مما هو معهود في إخراج كتاب مترجم. ونأمل لهذا الجهد الصادق أن يكون تواصلا وتناميا لمسلك حميد شهدته الثقافة العربية في أواسط القرن العشرين، تلك الحقبة التي كانت متوثبة بمجامعها صوب الاستقلال والتحرر القومي والتنهيض والتحديث والتنمية. وكان عالِم الرياضيات التطبيقية مصطفى مشرفة - الذي نعاه آينشتين بأسف بالغ - يدافع عن دور الأدب في الحياة، بينما يدافع طه حسين عميد الأدب العربي عن دور العلم في الحضارة. وفي هذا الإطار المستنير اجتمع أستاذ للرياضيات البحتة، عميد من عمداء كلية العلوم - ثم وكيل لجامعة القاهرة ووزير للتعليم العالي - د. محمد مرسي أحمد (١٩٠٨ - ١٩٨٩)، مع أستاذ رئيس لقسم الفلسفة د. أحمد فؤاد الأهواني (١٩٠٨ - ١٩٧٠)، لتقديم فلسفة الرياضيات إلى المكتبة العربية عن طريق الاشتراك معا في ترجمة كتاب برتراند رسل «أصول الرياضيات»، وظهر في خمسينيات القرن العشرين. والآن في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، بعد نصف قرن، يجتمع مرة ثانية أستاذ للفيزياء عميد من عمداء العلوم مع أستاذ رئيس لقسم الفلسفة في تقديم «فلسفة الكوانتم» إلى المكتبة العربية بترجمة كتاب رولان أومنيس. إنه التمثيل العيني لمهمة حضارية من أجلها كانت فلسفة العلوم، ألا وهي تأكيد التحاور والتعاون بين الفلسفة والعلم، ورأب الصدع بين العلوم والإنسانيات والذي قيل عنه إنه أشأم معركة عرفتها البشرية.

ومن بعد ومن قبل... لا نملك إلا أن نزجي الشكر بالغا منتهاه لسلسلة عالم المعرفة المرموقة، وهيئة تحريرها الموقرة، لجهدها الحثيث من أجل إثراء ورفعة الثقافة العربية، والانتقاء البالغ الحرص في تقديم المتون الجديدة والجادة الجيدة للقارئ العربي. فمنذ البداية تفضلت السلسلة



مشكورة باختيار هذا الكتاب المتميز حقا، ثم تكليفنا ترجمته، وصبرت معنا صبرا جميلا - غير معهود - حتى يخرج بهذه الصورة المُرضية والمخدومة بقصارى ما نستطيعه، في العلم أو في الفلسفة. ونرجو أن ترتفع بأطروحات فلسفة العلم والتفكير العلمي والثقافية العلمية في العالم العربي إلى آفاق أعلى وأرحب.

وفقنا الله دائما إلى ما فيه رفعة الثقافة العربية.

المترجمان





تمهيد

ثمة خيط واصل هادٍ حادٍ لهذا العمل، يمكن العود بأصوله إلى كتاب فرنسيس بيكون «الإحياء العظيم»: يوما ما ستصبح مبادئ العلم وثيقة القربى من قلب الأشياء وماهيتها، حتى أن الفلسفة ستغدو قادرة على أن تجد أصولها الخاصة بها في هاتيك المبادئ. ودعنا نخفف من غلواء هذا المرام ونتحدث عن فلسفة المعرفة فقط؛ ودعنا - في المقابل - نوطد من شأن ذلك المرام ونقول إن هذا اليوم قد أتى بالفعل، وإليك خلاصة هذا الكتاب.

لقد آن الأوان لكي نشق طريقنا للخروج من الأزمة الراهنة في الإبستمولوجيا [= فلسفة المعرفة] (*). ثمة أزمة فعلا. ذلك أن الأمر على خلاف الأونة المزدهرة في تاريخ المعرفة، فقد ضلت التأملات الفلسفية في العلم طريقها -

«إن العلم، على الرغم من جوانبه الصورية، يحمل معه نظرية للمعرفة، مجددا نظرية شفيفة، تستطيع أن تفسر لنا كيف يمكننا نحن البشر أن نفهم العالم»

المؤلف

(*) في الصفحات القادمة نلاحظ أن كل ما هو وارد في المتن بين قوسين مضلعين على هذا النحو [...]، وهو قليل، إنما هو إضافة من وضع المترجمين. وفي الأعم الأغلب يحمل هذان القوسان المضلعان مرادفا آخر يزيد المعنى وضوحا واستضاءة.

أما الأقواس الدائرية العادية أي (...) والتي ترد كثيرا في متن الكتاب، فجميعها من وضع المؤلف نفسه، هي ومحتواها بالطبع [المترجمان].



أو حل بها الركود والكساد. الكتاب المسايرون للعصر لا يرون إلا اللايقينيات والباراديمات (*) من دون مبادئ مستدامة، تواري المنهج، ومثول ثورات جامحة، وتحديدا حين نهتف لنجاح العلم الذي بلغ في مداه واتساقه نحوا غير مسبوق. ولكي نواجه هذا الخلل، ليس علينا إلا أن نعود إلى المفكرين القدامى، وهم بلا جدال أكثر حكمة، إلا أنهم أيضا غير قادرين على تقديم الترياق الشافي، لأن علمهم لم يعد هو علمنا؛ لقد تقدم علمنا كثيرا.. كثيرا.

وفي ما وراء ظلال الشك والريبة، يمكن أن نجد أرومة الأزمة في حادث لم يعمل أحد البتة على استكناه كل مغزاه ودلالته: إنه الاقتحام الكاسح من لدن المقاربة الصورية لبعض العلوم الأساسية من قبيل المنطق والرياضيات والفيزياء. وكنتيجة لهذا، باتت تلك الأنظمة المعرفية من الناحية العملية محصنة تماما، مما يفسر لنا الامتياز الخاص لبعض المفسرين أو روح المغامرة لديهم، ودع عنك الاضطراب الذي يحل بإنسان سليم الطوية تنتابه الدهشة بشأن هذا الذي يتحدث عنه أولئك العالمون ببواطن تلك الأمور.

إن قطاعا كبيرا من هذا الكتاب يقتفي أصول ذلك النزوع نحو الصورية ويبين ضرورته، ليس في الرياضيات فقط، بل أيضا في أساسيات نظرية النسبية وفيزياء الكوانتم، وفي النظريات التي تتناول كل ما يشكل الكون والفضاء والجسيمات. وكنوع من التوازن، يبين القطاع الآخر من الكتاب، كيف نفكك مثل هذه الصورية ونتغلب عليها. لقد جرى استيضاح الطريق بواسطة خطى تقدمية معينة أُحرزت في تأويل ميكانيكا الكوانتم التي يعود إليها الفضل في إمكان حل عدد لا بأس به من صعوبات لم يكن من السهل قبولها حتى في هذا النطاق، وهو النطاق الذي يشتد فيه، أكثر من سواه، تصادم مبادئ الفلسفة مع مبادئ الطبيعة. لاح مفتاح حل هذه المشكلة فقط بطريقة تدريجية، من خلال جهود مبذولة في مجالات تخصصية ونتائج تكنيكية. ولكن في النهاية، أصبح كل شيء غاية في البساطة: المبادئ التي أحكم العلم قبضته عليها

(*) البراديم Paradigm كلمة مأخوذة من الأصل اليوناني Paradeigma وتعني مثالا أو نموذجا يحتذى أي pattern. والمقصود بالباراديم النموذج المعرفي الإرشادي في العصر المعني، وبما أنه في عصر مَعْنيّ، فهو إذن راهن ومؤقت أي متغير، والمؤلف ينزع إلى معرفة مستدامة. انظر التعريف الذي وضعه المؤلف لهذا المصطلح في المعجم الوارد في نهاية الكتاب [المترجمان].



كافية تماما لكي نستثيب الحس المشترك [*]، ولتوضيح ضرورته بمغزى معين، وفي الوقت نفسه لكي نحدد حدود الحس المشترك وحدود «مبادئ» فلسفية معينة مستمدة منه. وهكذا نجد أن العلم، على الرغم من جوانبه الصورية، يحمل معه نظرية للمعرفة، مجددا نظرية شفيفة، تستطيع أن تفسر لنا كيف يمكننا نحن البشر أن نفهم العالم.

هل يمكن أن يؤدي كل هذا إلى فلسفة للمعرفة تصل إلى لب لباب طبيعة الواقع؟ لا ندري، حتى لو كنا نستطيع أن نراها تتشكل بالفعل، بينما نحن لانزال منشغلين بالخوض في غياهب الحلم بها.



(*) الحس المشترك common sense هو الإدراك الفطري أو الإدراك العادي للإنسان العادي وتصوراته العامة للكون وللمعرفة، لذلك فهو مشترك بين الناس أجمعين. لذلك نجد في «المعجم الفلسفي، الصادر عن مجمع اللغة العربية، القاهرة، ١٩٨٣» الحس المشترك: يراد به الفهم المشترك، ويطلق في الاستعمال الحديث على مجرد المشهورات والآراء المسلم بها عند الناس كافة. وهذا المصطلح - كما أشرنا في التصدير - يقوم بدور محوري في هذا الكتاب، وفي فلسفة أومنيس بأسرها [المترجمان].



توطئة

> «إننا متخصصون، وذلك هو مكمن قوتنا مثلما هي اللعنة التي حلت بنا؛ حتى الفلاسفة فينا متخصصون»
>
> **المؤلف**

كنا في الدرك الأسفل، أو بالأحرى في هاديس (*). إنه مكان بهيج، وقد دخلته مصادفة. في البداية حيّرني سؤال كربروس: «من أنت؟»، بيد أنني قد أسعدني الحظ بأن أجد الجواب، «أنا ابن من أبناء بان Pan» (**). كان المنطق مبرأ من العيب: بان يتفهم آلهة الغابات والحقول، وهي بدورها تتفهم ما خلدت إلى تفهمه، ليس فقط فيما بينها، بل في كل حدب وصوب. وبالتالي كان حساب بسيط للأعداد الفردية يمكنه تأكيد أنني من نسلهم وسليلهم. استطاع كربروس إدراك أنني لم أكذب، وكان عليّ أن ألج من دون أن أشرب من نهر

(*) هاديس Hades هو العالم السفلي المظلم في الأساطير الإغريقية، وهو الجحيم، أو مثوى الأموات. وكربروس Cerberus كلب ذو ثلاثة رؤوس، شعره من الأفاعي، مهمته أن يرقب الولوج إلى العالم السفلي هاديس، وإذا حاول أحد الفرار عليه أن يمسك به ويعيده. انظر: Oskar Seyffert, The Dictionary of Classical Mythology, Religion, Literature and Art. Gremercy Books, New York. 1995. [المترجمان].

(**) بان Pan هو إله الصيد والبراري والغابات. ونلاحظ أن فرنسيس بيكون داعية المنهج التجريبي سوف يسمي هذا المنهج «صيد بان»، إشارة إلى أن العلم التجريبي يقتنص من المعارف مثل ما يقتنصه إله الصيد، أي الغنيمة ذات الاعتبار [المترجمان].



النسيان لِيثي (*). وهكذا، بسبب من مثل هذه الظروف الغريبة، وجدت نفسي هناك، وكنت بصدد الحديث عن العالم، الذي لم أستطع للأسف الشديد أن أنساه. لقد كان اجتماعا فعليا. ليس حاضرا إلا الفلاسفة، وجميعهم من الفلاسفة السابقين على سقراط، تنتابهم رغبة تواقة لمعرفة ما لم يروه أبدا من قبل.

سأل واحد منهم: ما شكل الأرض؟ أجبت: إنها كروية، ابتهج بارمنيدس، بينما تجهم هيراقليطس. ثم تلا هذا العديد من الأسئلة، وفي اتقادها كانت تتتابع سريعا، حتى أنني لم أستطع أن أرد عليها جميعا. وأجبت هيراقليطس قائلا إن الكون في تغير دائم، ولكن له بداية؛ وقلت لأنكسمندر إن عالمنا لا متناهٍ، حتى أن البشر توالدوا حقا عن كائنات أخرى، وأن ثمة حياة أخرى خاضعة لتطور دائم؛ أما لوقيبوس فقد وصفت له الذرة وتداخلها في جسيمات؛ سر فيثاغورث إذ سمع أن الأعداد تحكم العالم وأن قوانين الفيزياء رياضية.

سأل فيثاغورث: أأنت رياضياتي؟ هل تلتحق بجماعتنا السرية؟ وجدتني أجيب على استحياء: كثيرون منا أعضاء فيها.

لست أدري كم استغرق هذا، وشعرت بالإرهاق. تلا هذا صمت طويل، مفعم بالتأملات. وكان ديمقريطس (**) أول من تكلم. وإذ التقط لمحة من نظرتي المرتبكة، سرعان ما أضاف «وهكذا، بمثل هذه المعارف الرحيبة تمتلك البشرية الآن فلسفة. أم أنني مخطئ؟». بذلت قصارى ما أستطيع لكي أبدو واثقا وأخبرتهم عن الكوكب الذي راحت التكنولوجيا تغزوه، والانفجار السكاني، والبحث عن قيم يمكن أن تجعلنا نتأقلم مع موقف غير متوَقع. رأيت البعض يتبسم والبعض الآخر يتجهم. سأل أحدهم «وماذا عن الآلهة؟». لم أرد.

عند هذه النقطة بدأ استجوابي، وجدت الترحيب ينقشع. أحكامي اصطنعت فترات توقف متتالية لكي يتشاوروا معا مشاورات حادة، لكنهم واصلوا بلا هوادة دفعي لطرح الإجابات. وفي كل مرة يذكرون الأخلاقيات كنت أقع في ورطة، وسرعان ما أحاطوا بالأمر. سمعتهم يقولون «إنه بربري، ولعله عبد أو صاحب صنعة».

(*) ليثي Lethe نهر النسيان الذي يجري في هاديس، تشرب منه أرواح الموتى شراب النسيان، لكي تنسى وجودها السابق [المترجمان].

(**) يمكن اعتبار ديمقريطس من أهم الفلاسفة الطبيعيين السابقين على سقراط، لأنه فيلسوف الذرة الذي طرح النظرية الذرية بوضوح على أسس تنحو نحو مقتضيات الروح العلمية، أخذها عن أستاذه لوقيبوس، ويقال إن النظرية الذرية طرحت لأول مرة في الهند القديمة. على أي حال، سوف يتعرض هذا الكتاب في موضع لاحق لتاريخ فكرة الذرة، فضلا عن تطوراتها المعاصرة والمستقبلية بالطبع [المترجمان].



انفعلت قائلا «أجل صاحب صنعة، وهكذا نحن جميعا الآن. منذ أربعة قرون ونحن نسبر غور الطبيعة عن طريق التجارب، مستخدمين أدوات من صنعتنا مثلما نستخدم عقولنا، إن لم يكن أكثر، ولهذا السبب نحن نعلم أشياء كثيرة. وإذا أخبرتكم لماذا نجد صعوبة في فهم معارفنا، فربما ترحبون بمد يد العون لي.

لقد بدأت العلوم فيما بيننا مثلما بدأت في ميتابونتم، حينما قسم أتباع فيثاغورث الشغف التواق للمعلم إلى فروع عديدة للدراسة. بعضهم تكرس للموسيقى، وآخرون للرياضيات أو الطب أو النبات؛ إلا أن البعض اضطلع بدراسة الشهب والنيازك أو جوهر العالم، وهكذا دواليك. إننا متخصصون، وذلك هو مكمن قوتنا مثلما هي اللعنة التي حلت بنا؛ حتى الفلاسفة فينا متخصصون. إن العيون المحملقة فيّ قد تجردت من الشفقة. وشعرت أنني مدفوع إلى أن أضيف قائلا، «بيد أننا نفعل شيئا ما حيال هذا».

واصلت حديثي «هكذا، في صميم هذه اللحظة قد يتغير كل شيء. يتواصل خبراؤنا معا، يستمع الواحد منهم إلى الآخر؛ كل واحد منهم هو بدوره أستاذ وتلميذ. وفي هذا كأن العقل يبحث عن وحدته. معارفنا شاسعة، والكثيرون يبحثون عن المزيد، حتى أن العلوم الفرادى تندمج. ثمة بحث عن حدود لم نستكشفها بعد وبهذا يلتقي المتخصصون معا، ويفاجئهم أنهم جميعا شركاء. تتشكل الجماعات الآتية من عائلات متباينة، وبحكم الضرورة، يعمل أغاممنون جنبا إلى جنب مع بريام؛ ومع مثل هذه الأقوات الوفيرة يمكنهما أن ينعما بالوليمة معا».

هتف أحدهم «رائع»، ثم أضاف «لكن لماذا الآن فقط؟».

«كما تعلمون جيدا، أيها الرجال الحكماء، البشر لا يمسكون بمقاليد أقدارهم، وإذا حدثت أشياء، كأن بتنا نعمل معا، فإن هذا راجع إلى قوة الظروف. حدث هذا الآن فقط لأن حادثة فائقة للمعتاد وقعت: فقد اكتشفنا لتونا أن العلم وحدة واحدة. لا تضحكوا، فلعلكم عرفتم هذا فعلا، لكن فقط بحكم الغريزة، كشيء ترغبونه، أما نحن فقد خلفنا انقساماتنا وراء ظهورنا» .اسمحوا لي أن استخدم صورة لكي أوضح ما الذي حدث. تخيلوا معي أن الواقع (الكون أو الطبيعة أو كيفما شئتم أن تسموه) انقسم إلى قطع أراض، كل منها ملك لعلم معين. كل علم على انفراد منشغل بالحفر والتنقيب، بالبحث عن كنوز جذور مطمورة في الأرض نسميها القوانين، إنها القوانين الخاصة به. في البداية، كان ثمة محض كتلة متشابكة من شعيرات رفيعة. وإذ تواصل الحفر والتنقيب، بدأت



الجذور الرفيعة تتصل معا لتشكل جذورا أكثر سمكا، تصل من نهاية حقل إلى بداية حقل آخر. سرعان ما تم تجاهل الخطوط المسحية بين الحقول المختلفة والامتداد إلى قطع أراض متجاورة. والآن تشكل شبكية منسجمة، بلا شك غير مكتملة، لكنها بلا أي فجوات. كلا يا بروتاغوراس، ليس هذا محصلة لإرادة الإنسان الفرد بل هو شيء آخر: إنه الواقع بألف ولام العهد، ولعله الوجود - بألف ولام العهد - ينبني أمام أعيننا على الصراط المستقيم.

«أتسأل، منذ متى؟ إنه يفعل منذ أمد طويل. الآن علمت الفيزياء والكيمياء منذ ستين عاما خلت أن أصليهما يشتركان في القوانين نفسها؛ ولم يكن اقتحام الكيمياء بل والفيزياء للبيولوجيا وليد البارحة فقط. أما بالنسبة إلى الوحدة، التي هي متجانسة ولا يمكن ردها إلى أشياء موضوعة بعضها إلى جانب بعض، فإننا لم نرَ إشراقتها إلا منذ جيل واحد خلا، بميقات العقل يحدث هذا في الأمس، وقت يكفي بصعوبة لكي تتغير العقول و تلتقط أنفاسها لتقوم الأمور وتدرك موطئ قدمها الآن».

قال بارمنيدس بنبرة الحالم «إنه الواحد... وإنه ليأتينك من دون أن تتلمس إليه السبيل أو حتى من دون أن تتفوه. ويا له من حظ سعيد لكم أيها البشر الفانون، أن تشاركوا في هذه الواحدية وأن تستطيع عقولكم إحكام القبضة عليها».

قام واحد منهم يبدو أنه استيقظ لتوه ليقول «إن المدن التي تحظى بالفلاسفة مدن سعيدة الحظ، لأنها مدن تحظى بالقوانين السديدة».

لقد أسكتوه، لكن ملاحظته لم تفعل إلا أن زادت من تململي وقلقي.

قلت «هذا هو على وجه الدقة ما لم نفهمه».

ارتفع الصياح، قطعه ديمقريطس قائلا «كيف يجوز هذا؟ حاليا أنتم تعرفون، وبالتالي تملك عقولكم الفكرة الواضحة، الصورة الدقيقة للأشياء، مثلما امتلكت أنا الفكرة الواضحة عن الذرات والصورة الدقيقة لها.. ومن ثم، لا شيء أهون من أن يتصل هذا بالكلمات. أليس هذا هو كل ما يدور حوله الفهم وتفسير الكون النظامي (الكوزموس)؟ فما الذي يجعلكم تتراجعون؟».

وقال «دعوني أحاول تفسير هذا، مستعينا بملاحظة صديق لي. فلا شيء سوى البلادة يمنع الفيزيائي من تفهم الأفكار الرائدة في البيولوجيا؛ ولكن بالنسبة إليَّ، كبيولوجي، لا يوجد شيء عويص ومبهم أكثر من الأفكار الرئيسية في الفيزياء أو الرياضيات المعاصرتين». لقد كان يعبر عما يشعر به آخرون كثر، وربما كان الفلاسفة في طليعة هؤلاء. إذا كان صديقي شغوفا بالفيزياء، فذلك لأنه يعتقد أن قوانينها -



بمغزى ما - هي الأقرب إلى ماهية الأشياء (ولا أحد البتة يتفوه بكلمة واحدة عن إمكان اختزالها إلى علم آخر). ما مشكلته إذن؟ يمكن أن تكون راجعة إلى طريقة مختلفة في التفكير، حتى ولو كنا نسمع أحيانا عن الأنماط الأدبية والأنماط العلمية. هل يمكن أن يكون الأمر هو أن علوما معينة، تماثل الموسيقى من هذه الناحية، هي فقط التي كان لا يمكن تملّك ناصيتها إلا إذا بدأت في سن مبكرة، أو أن دراستها تتطلب وقتا طويلا؟ كلا، إن الأمر مختلف تماما؛ ومن الاستماع إلى ديمقريطس قد يتعجب المرء مما إذا كان الفيزيائيون يتفهمون علمهم الخاص بهم، أم أنهم فقط على إلف به، إلف طويل وإن يكن سطحيا. إنهم لا يمتلكون في عقولهم قاطبة ما وصفه ديمقريطس من صورة واضحة وضوحا قاطعا؛ ربما كانت لديهم صورة جزئية، لشظايا متوافقة، لروابط حدسية، ولكن ليس البتة رؤية مكتملة».

بدا أنني قد أزعجت ديمقريطس. «لماذا لا ترى الذرات في عقلك؟».

«كلا. أنا أحاول أن أتخيلها ولا يحالفني النجاح، فليس إلا الرياضيات، هي التي تستطيع حقيقة أن تعبر عن مفاهيم وقوانين الفيزياء. فيثاغورث لن تباغته هذه الفكرة، ولكن أخشى أنه قد قال بشأن الرياضيات والأعداد نفس ما قلته أنت: أي أن الفهم يعتمد على امتلاك فكرة واضحة في الذهن، تمثيل قاطع، وأن البرهان لا يفيد إلا في تأكيد دقة هذه الفكرة. أنا أيضا أختلف معه في هذه النقطة».

«لقد ذكرت بالفعل حادثا ذا دلالة لم يقع إلا أخيرا (اكتشاف وحدة العلم)، لكن ثمة حدث آخر يسبقه، قد لا يبدو واعدا مثله - ويمكن القول إنه تقريبا قد حال دونه. هي مفاجأة بمعنى الكلمة، على الرغم من العلامات الموحية بها، لأنها لم تستغرق إلا ربعي قرن، الربع الأول في القرن التاسع عشر والثاني في القرن العشرين. فقد خضعت ثلاثة علوم وثيقة الصلة ببعضها، هي المنطق والرياضيات والفيزياء، لعملية تبدل كامل تقريبا في الوقت نفسه من دون سبب مشترك بينها، انتقلت جميعها من مقاربة مرئية قابلة للتمثل إلى مقاربة لا تصورية مجردة وصورية. يمكن فهم حالة المنطق، لأنه كان دائما علما صوريا من دون أن يعترف بهذا. اكتشفت الرياضيات أنها لا تتعامل مع أي شيء معين بل فقط مع علاقات خالصة، مستقلة عن أي مضمون محدد، وبالتالي لم يعد للرياضيات أي اتصال وثيق بالواقع. أما بالنسبة إلى الفيزياء، فقد بات عليها مجددا أن تستسلم للظروف السائدة، إن لم نقل تستسلم للقدر المحتوم. كلما اقتحمنا طبيعة المكان والزمان، وطبيعة الذرة، كلما اكتشفنا أن المفاهيم الوحيدة الصلبة التي يمكن أن نستخدمها كأساس لم تعد مرئية يمكن التعبير عنها بالكلمات، بل ذات طبيعة رياضية خالصة فقط».



قاطعني أحدهم قائلا «هل تقول إن الفيزياء لكي تتقدم ومن أجل تناول أحصف للكون النظامي (الكوزموس)، عليها أن تعتمد أساسا على الرياضيات في عين اللحظة نفسها التي تقطع فيها الرياضيات صلتها بالواقع؟».

«أجل، وعلى وجه الدقة. على الرغم من أننا يجب أن نذكر أيضا التجارب والحدس لكي يكون حديثنا دقيقا. وهكذا يمكن أن نخوض في الحديث حول منهج العلم، إلا أن البعض منا تنتابه الحيرة، أو ربما العناد، فهم لا يعتقدون أنه لم يعد ثمة شيء اسمه المنهج. آخرون يستمسكون بأن العلم مجرد انعكاس لشيء ما من روح العصر، وأنه يتبدل تبدلا كاملا عن طريق الثورات، أو أنه لا شيء أكثر من اتفاق مجمع عليه بين الخبراء. كيف يمكن أن يتلمس فيلسوف طريقه في غياهب هذه المؤامرة، مؤامرة التنازلات وما هو غير ملائم وفي غير محله».

قال لي بارمنيدس الطيب «هدّئ من روعك، كل ما في الأمر أن أولئك الناس ينقصهم الصبر لكي ينتظروا حتى تُحل الأحاجي والألغاز في الوقت الملائم. خذ في اعتبارك الأمد الطويل الذي ينبغي علينا نحن أنفسنا أن ننتظره. والأحرى أن تخبرنا بما آلت إليه رياضياتكم وفيزياؤكم، إذ يبدو لنا أنهما - على وجه التحديد - هما اللذان يشغلانك قبلا».

قلت «حسنا، فقد جرى الأمر بصورة أو بأخرى على النحو التالي: رياضيونا في الوقت الحالي متكرسون تماما للصورية، لمعالجة الرموز، للمفاهيم التي يجري تشييدها باستخدام بديهيات تتحدى أي تمثيل لها. تشييدها يدعمه المنطق الذي هو نفسه، ككل وكأجزاء، صوري. لقد وجدت الفيزياء موضوعاتها المبدئية: الزمان- المكان والجسيمات الأولية للمادة، ولكن الثمن هو قبول ألا تكون مبادئها وأسسها قابلة للتمثل أمام عيون العقل».

مجددا أطلقت صرخة وهتفت، «علومنا عمياء مثل هوميروس، وهي مثله مفتوحة على الكون النظامي بأسره لأنها عمياء».

قاطعنا هيراقليطس قائلا، «إذن هي أيضا مجنونة مثل هوميروس، ومثلكم حين تنشدون غنائياتكم مقابل ثلاث دراخمات (*). وبعد كل هذا، أطلقوا عليّ فيلسوف الظلام، أليس كذلك؟ لماذا ينبغي أن يكون ثمة طريق واحد للفهم؟ هل أخذتم هذا في اعتباركم؟».

(*) الدراخمة هي العملة النقدية في اليونان القديمة، وظلت هكذا حتى استبدل بها اليورو أخيرا [المترجمان].



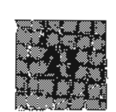
أجبت بشيء من التردد «أجل، البعض بدأ يأخذ هذا في اعتباره. إنهم يتساءلون عما إذا كان الغموض في العلوم الأساسية لا محيص عنه، وعما إذا كان يمكن أن نفهم بطرق مختلفة عن طرق الفهم التقليدية. بعض الأعمال الحديثة تسير في هذا الاتجاه. إنها تتعلق بميكانيكا الكوانتم، وهي نوع من العلوم يدور حول القوانين الأولية للمادة، وأكثر العلوم تغطرسا بالصورية. تلك الأعمال اضطلع بها مؤلفوها من دون أدنى دعاوى فلسفية، فقط لكي يجعلوا أوجها معينة من النظرية واضحة جلية. ولكن على غير المتوقع، يمكن القول إنهم أخرجوا شيئا ما، لم يبحث عنه أحد وربما يكون طريقا جديدا للفهم، كما اقترحت أنت».

وانطلق صوت نافد الصبر ليسأل «في العادة ينتج العلم معرفة، ولكن كيف يمكنه أن يترك تأثيره في تلك المعرفة ويُغيّر من طريقة فهمنا؟».

قلت «أجل هذا حق، يجب أن نعنى جيدا بما هو مطروح من منظور فلسفة المعرفة. ومن الأهمية بمكان أن نعرف أن ميكانيكا الكوانتم ترسو على مبادئ معينة تحظى بتعريف جيد. تم اكتشاف هذه المبادئ على أساس الإيمان بمعطيات تجريبية معينة، لكن منذ ذلك الحين عظمت وتراكمت عواقبها. لقد دفعت إلى إعادة صياغة أسس العلوم الفيزيائية بأسرها، ومرارا وتكرارا تلقى التأييد والتأكيد في ظروف مستجدة تماما. تعرض تلك المبادئ لانسجام وتوافق حتى أننا في رحابها نصل إلى نصب محصنة قبلا لا تهتز ولا ترتج. هذا على الرغم من أنها مبادئ صورية، كما أُخبرتكم من قبل؛ أي أنها تنطوي على مفاهيم أساسية أقرب إلى الرياضيات منها إلى أي شيء يمكن أن تراه عيوننا أو يتمثله خيالنا، مفاهيم من قبيل دوال الموجة، ولا يزال ثمة ما هو أسوأ من هذا. بطبيعة الحال، ترسو مفاهيم الفيزياء على تلك المفاهيم، وتعبر عن خصائص للمادة تتخذ صورة قواعد رياضية. لا علم البتة يمكن أن يكون صوريا أكثر من هذا».

«نوافقك، ولكن ما علاقة كل هذا بالفلسفة؟».

«كما ترون، هذه القوانين الجديدة المؤَسسة جيدا إنما تفند مبادئ أخرى ذات طبيعة فلسفية، ودائما ما كنا نعتبرها مبادئ عمومية: القابلية للفهم (إمكان أن نرى ما يوجد في المكان والزمان)، التموضع (كل شيء في مكان ما)، العلّية (لا معلول بدون علة)، وبضعة مبادئ أخرى».



وإذ قلت قولي هذا، لمحت على التو علائم الاهتمام تعلو الوجوه جميعا. هيراقليطس فقط هو الذي بدا مبتهجا. كان ديمقريطس مذهولا، وسألني بصوت مشحون بالعاطفة: «وما الذي فعلتموه لتجنب ذلك؟».

«رأى العالم العظيم نيلز بور N. Bohr في هذا ترميما وتجديدا للنظام. ولكن كان عليه أن يدفع الثمن، وهو ثمن باهظ. فلم يرجع أبدا إلى الحس المشترك، أو حتى إلى المبادئ التي تعتبرونها طبيعية، بل أقام حواجز آمنة فيما وراء الفيافي التي يُحظر التفكير فيها. وكنتيجة لهذا، حُرمت الضلالات الفلسفية التي نوقشت آنفا. وهكذا في ما قال حين نتحدث عن الذرات، يجب أن نحجم عن تقرير أي شيء يتعلق بموضعها أو سرعتها؛ لا نستطيع أن نتحدث عنها إلا باستعمال مصطلحات رياضية موصى بها. بطبيعة الحال، أراد الفلاسفة تجاهل تلك الحواجز، وكذلك أراد الفيزيائيون، ولكن كل الجهود التي بذلت لعبور العتبة المحرمة انتهت إلى الفشل. تحدث البعض عن واقع محجوب ليعبروا عن تراجع الأشياء، هذا تحت وطأة إمعان نظر العقل.

«وفقط أخيرا أمكن إيجاد طريق يلتف حول الحدود والتقييدات التي أقامها بور، ولكن حتى مؤلفو ذلك الطريق لم يفهموا بصفة مبدئية هذا الذي أنجزوه. وبعد أن وقعت الواقعة، أدركوا أن الأدوات الصورية التي استخدموها قد أحدثت ما يرادف زلزالا إبستمولوجيا، انقلابا حقيقياً في نظام المعرفة».

وهتف صوتٌ نافد الصبر «وماذا بعد؟».

«تتوقف الخطوة الأولى على إعادة اعتبار دور القوانين ودور إدراكنا للوقائع. لقد افترضنا دائما أن العلم يبدأ سيره من الخبرة، من أفعال خالصة مرئية يمكن بسهولة ترجمتها إلى كلمات، ومنها نصل إلى المبادئ، وهي ليست دائما مبادئ شفيفة، بل هي - مع هذا - مجمل تركيبي للوقائع. لم تعد نقطة البدء الجديدة هي الخبرة، الواقع، بل باتت ما يماثل تلك المبادئ، التي جرى اعتبارها أكثر صلابة وأكثر تعينا من أي شيء يمكن أن تراه أعيننا أو تعبر عنه كلماتنا.

سأل سائل «هل هذا منطقي؟».

«على وجه الدقة. التساؤل بأسره يتوقف على المنطق وعلاقته بالواقع الفيزيائي؛ إن شئت قل إنها مشكلة العقل. هل كان بور مدفوعا إلى حظر التفكير في العالم الذري إلا لأن المنطق الطبيعي للغة لم يعد ينطبق على ذلك المجال؟ بل اعتقد البعض أن المنطق المنبت الصلة بجذوره هو فقط الذي يستطيع أن يصف



العالم الخارجي.على أن إحدى معقبات النتائج الجديدة كانت تبيان وجود البنية الملائمة (التي تستخدم مبادئ النظرية)، والفضل يعود إلى ما يمكن أن نقوله عن عالم الكوانتم بمنطق مبرأ من الزلل، وإن يكن منطقا صوريا».

وعن طريق المصادرة على مبدأ جديد لاستعمال المنطق في الفيزياء، بات العديد من الأسئلة أيسر منالا. ونتيجة لهذا عدت بعض التقييدات التي وضعها بور غير مواتمة، وعلى وجه الدقة تلك التي تمنع علينا أن نفهم. الفكرة، بشكل أساسي، هي أن نفهم بطريقة مختلفة: إذا كانت جذور المنطق في الواقع بدلا من أن تكون في العقل، سيكون من الممكن إذن أن نجيب عن السؤال: لماذا يفكر عقلنا بالطريقة التي يفكر بها. واليوم، نفترض بشكل عام أن مدركاتنا الحسية شكّلت العقل: العالم الذي تأتي منه تصوراتنا ومكونات لغتنا. بيد أن العالم الذي ندركه ليس هو العالم الذري؛ إنه عالم مكون من أشياء أكبر كثيرا وبدرجة لا تُقارَن، ويبدو مظهرها متسما بخصائص مختلفة تماما، حتى لو كانت الذرات هي منشؤها. وإذا استطعنا أن نستثيب سائر ملامح هذا العالم الأكبر من خلال أكثر مبادئ الفيزياء عمومية وتجريدا، فسوف يكتمل العكس. رؤيتنا للعالم والحس المشترك الذي يسايره لن تعود تبدو نقطة بدء عمومية موثوق بها، بل بالأحرى كمنتج فرعي لقوانين الطبيعة. أما بالنسبة إلى المبادئ التي تُعزى تقليديا إلى الفلسفة، فنستطيع أن نبين (لأن ثمة بينات) المجالات التي لاتزال تلك المبادئ صحيحة فيها. لن نفقدها، لأن لدينا مبادئ أفضل.

يقول ديمقريطس «صفوة القول إن العلم منح نفسه وحدة. لقد بات غامضا بنشأة الصورية، وسوف يعود واضحا من جديد عن طريق انتهاج الطريق العكسي نحو المعرفة. قلت ذات مرة إن الذكاء يجب أن يسبق المعرفة، وبالتالي فإن الطريق المعكوس إلى الأشياء لا يمكن إلا أن يسعدني. كل شيء يبدو واضحا». ولما رآني محجما عن الموافقة، أردف قائلا «أم أنني أخطأت مجددا؟».

«هذا موقف خاص متعين. لم يعد ثمة أي شيء يقيني، ولا بد أن نسير بحذر لأن المعقبات الممكنة جد مهيبة».

«لدينا ما يكفينا من التفافاتك حول الموضوع! فما هي المشكلة؟».

«يبدو أن ثمة هوة، صدعا، بين عالم الفكر، العالم النظري، وبين الواقع الفيزيقي. يبدو كأن قوة المنطق والرياضيات، بعد أن رصدت أدق تفصيلات هذا الواقع، عاجزة عن اقتحام ماهيته».

«إذن؟»



«النظرية الآن أكثر من أي وقت مضى أصبحت قائمة على الاحتمالات، على المصادفة، لأن إمكان الوصف المنطقي للعالم يرسو في الوقت الراهن على هذا المفهوم للاحتمالية. وهكذا نجد أن ماهية النظرية هي وصف ما هو ممكن، ولكن ماهية الواقع هي أنه متفرد، وبالتالي هناك هوة بين الاثنين. لعلنا بلغنا حدود ما أسماه هوسرل وهيدغر، وهو معجب بكم، المشروع الديكارتي: التفسير النظري للعالم باستخدام المنطق والرياضيات».

قاطعتني قهقهة الأقدار الأولمبية وكانت قهقهات هيراقليطس.

«أنتم سذج، إذ تعتقدون أن السيلان (*) الذي لا يكف يمكن أن يحيق به السكون الأبدي، الكوزموس (**) في اللوغوس (***). ومع ذلك، طويلا ما قابلتم بيننا، هو وأنا (مشيرا إلى بارمنيدس)، واعتقدتم أن هذا بمحض المصادفة. ولكن ربما لا تكونون في بلاهة أهل إفسوس، وإذا كانت الحمير تفضل الشوفان على الذهب، فأنتم قد رأيتم على الأقل قاع المزود. الرب الذي يقف كاهنه في دلفي لا يُظهر ولا يُبطن لكنه يوحي بالعلائم، وهاك إحداها: أن نفهم كل الأشياء وأخيرا يثار السؤال حول الحدود القصوى للفكر. لقد بلغتم هذه الآماد، إلا أنكم تجأرون بالشكوى، أيها الفانون إنكم لمحظوظون؛ أنتم لا تدركون ثراءكم الفاحش. تعالوا على أرواحكم واتركوا عوائدكم الفظة. إن المرام هنالك، في متناول أيديكم».

سمعت بارمنيدس يهمس إلى زينون قائلا «هل تعتقد أنهم على وشك أن يبدأوا الفلسفة بأسرها مجددا؟» وأجابه زينون: «من شأن هذا أن يكون مفارقة لطيفة».

* * *

(*) السيلان هو الصيرورة والتغير الدائم الذي يحكم العالم وفقا لفلسفة هيراقليطس، فلا شيء ثابت البتة، وبتعبير هيراقليطس الشهير: أنت لا تستطيع أن تنزل النهر الواحد مرتين، لأن مياها جديدة تغمرك باستمرار. أما بارمنيدس فهو فيلسوف الثبات، ويتبعه تلميذه زينون [المترجمان].

(**) الكوزموزس Cosmos هو الكون الذي نحيا فيه من حيث هو كون نظامي خاضع للقوانين، ومن هنا كانت الكوزمولوجيا من أمهات المباحث الفلسفية، والآن بعد نظريات الانفجار الكبير والدقائق الأولى من عمر الكون والثقوب السوداء... أصبحت من مباحث علم الفلك [المترجمان].

(***) اللوغوس Logos هو العقل/ الكلمة، العاقل المعقول في هذا الكون. منه كان اشتقاق مصطلح المنطق، والمقطع البعدي ology الذي يضاف إلى الكلمة ليفيد معنى العلم بها، أو على الأقل البحث النظامي المقنن [المترجمان].



الجزء الأول

الميراث

مقدمة

إذا كان علينا اليوم أن نعيد التفكير في الروابط بين الفلسفة والعلم، فذلك لأننا نعاني من ويلات انكسار عظيم. إن العلوم الأكثر أساسية، تلك التي تتناول المكان والزمان والمادة، والتي أسماها الإغريق علوم الوجود، قد تجاوزت حدود الحس المشترك والفلسفة التقليدية. وما نبتغيه الآن هو أن نستبين ذلك الخواء الناشئ، وأن نصلح من شأنه بمعنى ما، إنه صدع في تواصل الفكر يحول بيننا وبين أن نكون على وعي كامل بالوضع، وعي بمعنى العلم وتضمناته. وقطعا أفضل السبل للبدء في هذا هو أن نفحص معا كيف تخلّق هذا الموقف.

من الملائم أن نعود أولا إلى الميراث، أي إلى العلم عندما كان كل شيء فيه واضحا. عندئذٍ فقط قد يمكننا، في مواجهة تلك الخلفية، أن نثمّن تطور المعرفة عبر مسار الزمن وأن نرى انحسار المد. سوف نجد حينذاك أصول ما يمكن أن نسميه الإبستمولوجيا التلقائية في عصرنا هذا، الإبستمولوجيا التلقائية مفهوم للعلم واسع الانتشار مثلما هو مفهوم حسير البصر، بين

«مهما كان الجزء الأول من الكتاب ذا خطورة، فإنه يبدو **كأغنية الحب، المشوق فيها هو الوضوح»**

المؤلف



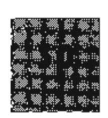
الفينة والأخرى يلقى توطيدا في أوساط الفلاسفة عن طريق كتابات لمؤلفين لا يسايرون الطراز الشائع - إنه مفهوم نشأ عن علم الأمس وليس عن علمنا اليوم. ولكي نحرر أنفسنا من هذا المفهوم لا بد أن نتعرف عليه ولماذا، وهذا يعني أن نقتفي الطريق عائدين إلى ما أدى إليه. وهذا هو على وجه الدقة ما نحن بصدده الآن.

العلم الذي نحن بسبيلنا إلى الحديث عنه ليس علم القرن العشرين، بل هو علم الكتب الموثقة جيدا التي جعلت كل شيء يبدو واضحا جليا. بدأ هذا مع بيكون كحلم من أحلام الفلسفة، ولا يدهشنا أن كثيرين من الفلاسفة قد ألهمهم هذا الحلم: ديكارت ومالبرانش وسبينوزا وليبنتز وهيوم وكانط، وآخرون كثر. لقد تمثلوه وهضموه ليصل إلينا في صورة منقحة، وأيضا جعلوا من العسير علينا أن نحرر أنفسنا منه.

لكي نقدّر قيمة هذا الحلم، يكفي أن نتذكر السابقين على سقراط، الذين تحمل أعمالهم - ومعظمها مفقود - العنوان نفسه، ألا وهو: في الطبيعة On Nature. ونجد على وجه الدقة هذه الطبيعة physis في كتابات الميليسيين والفيثاغوريين والإيليين وكتابات أهل أبديرا، بتلك الوفرة الهائلة في تساؤلاتهم، التساؤلات الساذجة والعميقة في الوقت نفسه، كتساؤلات الطفل. كم كانوا تواقين إلى أن يتعلموا كيف ولماذا.. تشرق الشمس، وتكون السماء زرقاء، وتتحرك الكواكب، ما هي العناصر، وكيف نفض أسرار الحياة التي لم يمتلك، أولئك الأسلاف، إزاءها إلا الدهشة! إننا نمتلك الأجوبة، وأيضا نعرف أن الفهم الحقيقي يتطلب أكثر من مجرد الأجوبة.

سوف نتحدث عن العصر الذي كان العالم فيه يافعا ولايزال حدسيا، على اتفاق طبيعي مع إدراكنا للعالم؛ عن علم كلاسيكي، باختصار مثلما تكون تماثيل براكسيتيل وسيمفونيات موزار كلاسيكية: رونق وصفاء. سوف نصل إلى صلب الموضوع بمعونة أمثلة قليلة ذات دلالة، لأن الصورة المكتملة غير ضرورية. ثمة دوائر معارف لهذا، والمعرفة التفصيلية قد تمثل بالفعل عائقا يعوق التفهم.

في البداية سوف نتحدث عن المنطق، عن سوء الفهم. إن المنطق مثل الماس، خالص وشفيف، وأيضا محصن لا يسهل انتهاكه، قادر على أن يدمغ كل شيء. ولكن لن نناقش المنطق بطريقة كتب الفلسفة العديدة في أيامنا



هذه، فقط كتكنيك تكراري؛ بدلا من هذا سوف نستكشف قطاعات من تاريخه. وطبيعي أن ثمة غرضا من كل هذا، لأن طبيعة المنطق تثير بصورة قصوى أعمق الأسئلة في العلم وفي الفلسفة، وسوف نحاول في ما بعد أن نميط اللثام عن بعض أسراره.

وأيضا سوف نقول شيئا ما عن الرياضيات. لماذا؟ هذا بسبب من دورها المحوري في بنية العلوم الفيزيائية. بيد أن الرياضيات تملك أيضا الكثير من صلب ذاتها لتعلمنا إياه، وذلك حين نجدها مثل مبدأ اللوجوس الحديث، تصعد الهوينى من وضع خادمة العلوم والفلسفة إلى وضع الملكة المتوجة.

أما عن علوم الطبيعة، فسوف نحصر أنفسنا في حدود الفيزياء، ولا يعود هذا فقط إلى ميول المؤلف، ولكن لأن الفيزياء هي الدرس النظامي الذي سوف يكشف لنا، في الأجزاء الأخيرة من الكتاب، الخصائص المميزة الكبرى للعلم المعاصر. وربما يجد بعض القراء أن تأكيدنا على أكثر الأجزاء أساسية في الفيزياء فيه شيء من المغالاة. قد يقولون «إذ يتبع المرء هذا المسار - لا يندهش حين يشتبك بالألغاز والأحاجي. مع هذا، تظل الحقيقة هي أن العلم في معظمه لايزال واضحا، بل يزداد وضوحا يوما بعد يوم، ويغدو متاحا لغالبية البشر؛ إننا نستطيع أن نرى ألغازه تنحل الواحد إثر الآخر». وأنا أوافقك عزيزي القارئ، وأنت تستشف لحم العلم هكذا. أنا مثلك أستمتع بالصور الجديدة للكواكب، وبحركة الأرصفة القارية، وبجزيئات الدنا D.N.A تبدو مثل جمع من الكرات، وبالبقية الباقية. لكن وراء هذا اللحم ثمة النخاع ولب اللباب: القوانين، ودلالاتها الخاطفة، ووحدتها المتأبية. والحق أننا بإزاء هذا.

مهما كان الجزء الأول من الكتاب ذا خطورة، فإنه يبدو كأغنية حب، المعشوق فيها هو الوضوح. وعلى أي حال، لا بد أن ينتهي نهاية سوداوية كمعزوفات شوبيرت، لأن طائر الحب حلق بعيدا. لا شيء يبين هذا أفضل من نظرة عامة على تاريخ الفلسفة، وذلك في الفصل الأخير. في وقت ما، كانت الفلسفة تعيش عصر التنوير. بدا أن رغبة الإغريق في الاطلاع والمعرفة، وتساؤلاتهم العميقة حول الوجود راحت جميعها في غياهب النسيان، وكل شيء بسيط وفي وضوح شمس النهار. وكم انقضى هذا العصر سريعا.



وإذ نواصل المسير، سوف تصادفنا علامات ماثلة على الانكسار، تتسع الهوينا لتغدو صدوعا. لابد أن نتعرف عليها حالما تلوح لنا، قبل أن تصبح انشقاقا عظيما، لهذا السبب نعاود زيارة تاريخ العلم في مراحله الكبرى. ذلك هو غرضنا الوحيد.



1

المنطق الكلاسيكي

«تتقدم المعرفة عن طريق التحليل المنطوي على استعمال حصيف للكلمات. ويجري التعبير عن حصائله بالكلمات، وقد كان النمط الكلامي هو النمط الوحيد للبحث في العصور الوسطى، ارتباطات لا نهاية لها بين الكلمات»

المؤلف

المنطق ربيب الإغريق، مثله مثل الديموقراطية والدراما وفن الخطابة والتاريخ والفلسفة والرياضيات. ويبدو أن الفكر في الحضارات الأسبق كان يقال بدلا من أن يُشيَّد، كانت الحقيقة تُدرك توا، لا تتطلب أي تحليل لكي تفرض ذاتها أو لكي تكون مقبولة. أجل مارس البشر التفكير حقبا طويلة، لكن فقط في مكان معين وزمان معين بدأ البشر يفحصون ويحللون آليات تفكيرهم، كي يكونوا قادرين على التعقل (*). كان لزاما عليهم الاعتراف بأن التفكير يطيع قوانينه الخاصة به، ولا يستسلم لإرادة المفكر أو لمشيئة الأرباب.

(*) طبعا يقصد المؤلف بهؤلاء البشر: الإغريق ومن ثم الأوروبيين وأهل الحضارة الغربية. إنه ما أشرنا إليه في التصدير من انغلاق على قمم الحضارة الغربية، مادام يحوي مارد الكوانتم. ولا يتسع المجال للإشارة إلى ما تم اكتشافه أخيرا من أصول متطورة للمنطق الهندي القديم، السابق على المنطق الإغريقي. وفي أعقابه يعطينا علم أصول الفقه الإسلامي شكلا آخر ناضجا لمنطق استدلال ذي مهام مختلفة ونوعية متميزة. على أي حال لا ضير من تتبع المسار الغربي الخالص، مادام مبتغانا هو منطق الكوانتم [المترجمان].



أصبح المنطق بالنسبة إلينا العمود الفقري للتفكير، حتى لو كنا نجهل ما هو المنطق، مثلما نجهل مسوغات ثقتنا العمياء تقريبا في سلطانه. وحين يضع الخبراء تعريفا للمنطق أنه يتكون من «مبادئ صحة الاستدلال»، فمن الواضح أنهم يغازلون المستحيل أن يستخدموا ألفاظا ليس لها مضمون محدد (*). ومع هذا، تبقى تلك الأسئلة الأساسية عن طبيعة المنطق أسئلة جوهرية، لأنها ستظل تمارس ثقلها على كل شيء سنراه في ما بعد. الفيلسوف يعرف هذا، أما العالم فيتجاهله ببساطة ويتابع مسيره؛ وكان شاعر هو الذي عبّر عنه في أبهى صورة: «لست إلا صانعا للكلمات. إنها الكلمات، فمَن يُعنى بها، إنها ذاتي، فمَن يُعنى بها؟» أدلى نيتشه بهذا الاعتراف المأساوي في قصيدة، وليس في إحدى كتاباته الفلسفية (**). وعلى هذا النحو نجد أن كل كتاب عليم إنما ينبني على جهل لا حدود له. وإني لأرغب في طرد هذه اللعنة في مفتتح كتابي. ليست هذه ملاحظة بريئة، إذ تبدو منطوية على أننا لا نستطيع أن نتحدث عن المنطق حديثا منطقيا في غياب أسس للغة قائمة فعلا. التفكير ليست له نقطة بداية، لا بد أن يبدأ مما هو ملتبس واصطلاحي، تتوقف قيمة التفكير فقط على مدى خصوبته. وفي ما بعد، ربما ينقشع الظلام عن نقطة البدء هذه إذ تضيئها المعارف اللاحقة، وتغدو جزءا من دائرة متساوقة (***). هكذا يكون مبتغانا النهائي: أن نرى الثمار الدانية للمعرفة، تتخلق عن بذور يكتنفها الغموض، ومجددا تحمل

(*) انظر:

William and Martha Kneale, The Development of Logic (Oxford Clarendon, 1978; 1st ed., 1962).

هذا المقال هو مرجعنا الأساسي [المؤلف].

(**) هذا ما قاله بمزيد من المهابة والأبهة الشاعر الفرنسي سان جون بيرس: «أيتها اللغة، تقفين كالشجرة الباسقة، أنت أيضا الهمس المغمغم لفرد وحيد، أكمه، يتجول في متاهات المعرفة». ربما يستحيل ترجمة هذا. يستطيع الشعر أن ينقل التباريح التي تمر بخبرتنا أحيانا في ما يتعلق باللغة والمغزى، فبيت الشعر هو النقيض المقابل تماما للقضية المنطقية. لا يمكن تغيير كلمة ويظل تناغم الأنشودة قائما كما هو [المؤلف].

(***) متساوقة هنا تقابل coherent. وقد عنينا عناية بالغة بوضع المقابل الدقيق والمتميز لهذه الكلمة، لأنها ستمثل مصطلحا محوريا في الفلسفة، وفي فيزياء الكوانتم على السواء، فوجدنا «التساوق» هو المقابل السديد. في الفلسفة والمنطق، ثمة نظرية الصدق المعروفة باسم التساوق: Coherence Theory of Truth. وفي فيزياء الكوانتم ثمة مصطلح: التساوق المفقود decoherence الذي هو ظاهرة فيزيائية يُعزى إليها الاختفاء السريع جدا لتأثيرات التداخل الكوانتي.

التساوق يعني عنصرين - أو أكثر طبعا - يسيران معا في ما هو أكثر من مجرد التوافق أو الاتساق، وأقل من التلازم الذي يبدو ضروريا وتحصيلا لحاصل، أو التلاحم الذي تنصهر معه العناصر في وحدة واحدة قد تمّحي معها هوية كل عنصر [المترجمان].



داخلها بذورا مماثلة تحمل المعنى. وإذ قلنا قولنا هذا، دعنا نخب في المسير من دون أن نلقي المزيد من الأسئلة، مادام لم يبق شيء نستطيع أن نقوله الآن في هذا الموضوع.

وأن نواصل المسير يعني أن نصحب المنطق، في الفصل الماثل، وذلك في مرحلته الكلاسيكية وصولا إلى بزوغ ما سوف يصبح لاحقا المنطق الصوري.

فيثاغورث والمنبوذ

إذا كان علي أن أحدد أعظم مفكر على مستوى كل العصور، لقلت بلا تردد إنه هو هذا «الفيثاغوري» المجهول. قبل كل شيء، ربما كان فيثاغورث نفسه هو الوحيد الذي أعلن تشييد المملكة. نعلم أنه ولد في جزيرة ساموس، في بواكير القرن السادس قبل الميلاد، وأنه ارتحل إلى مصر حيث تلقى العلم على يد كهنة آمون، إله طيبة ذي الرأس البشري. وأيضا قيل إنه التقى بـ «الفيلسوف العاري» الهندي (*). ثم استقر أخيرا في كروتون، وهي مدينة إغريقية في جنوب إيطاليا، حيث أسس جماعة صوفية متقشفة.

كان يمكن حينئذ أن يغدو واحدا من مرشدين روحيين يفوقون العد والحصر ألقى بهم التاريخ في زوايا النسيان، ولا يهمنا أن نعلم ما إذا كان قد درس تناسخ الأرواح، أو أنه كما يقال امتلك فخذا من الذهب. وإذا كنا معنيين به، فذلك بسبب من حضوره الطاغي، المدعم بوثائق وافرة، حضوره في أصول النزعة العقلية التي سوف يتشرب بها التفكير الإغريقي. كان العقل عند فيثاغورث أهم ملكات الإنسان، وبسلطانه لا سواه يمكن أن يؤدي إلى شكل من أشكال الحقيقة أقوى وأعمق من كل ما عداه.

رؤيته للطبيعة تبدو لنا ذات جرأة فائقة. قال إن الأعداد تحكم العالم. يبدو هذا الاقتناع قائما على واقعة بسيطة: فقد لاحظ (أو تعلم) أن هارمونيات القيثارة تعتمد على المكان الدقيق لنقر الأوتار وأن المسافات الموسيقية التي تشنف الآذان - الثمانيات أو الثلاثيات أو الخماسيات كما نسميها الآن - تأتي من أوتار النسبة بينها هي ذاتها النسبة بين عددين صحيحين. على أي حال، إنه لتقدير استقرائي مهيب أن يقرر من هذه الواقعة

(*) هو مذهب الجينية في الهند القديمة، حيث ينتصر الإنسان على الشهوات وعلى العالم المادي بالجوع والعري [المترجمان].



أن «كل شيء عدد» - هذا ما اعتبره البعض برنامج الفيزياء الرياضية، حتى إن كان قد طرح قبل ميلاد أي من الفيزياء أو الرياضيات، ربما كان هذا التقرير محالا بالمرة، إلا أنه يجعل الإعجاب يأخذ بمجامعنا، لكن أيضا لا بد من الاعتراف بأن شيئا من الشك يخامرنا.

إن المفكرين السابقين على سقراط لديهم العديد من أمثلة تلقي مثل هذا الضوء الكثيف، عادة ما تكون مشتبكة بأفكار تكتنفها الأغاليط. والواقع، أن عبقرية فيثاغورث ـ وأيضا عبقرية بعض تلاميذه ـ تمثلت في قطع الخطوة الأولى نحو التدليل على أفكارهم، أي أنهم عرفوا كيف يبينون أن أفكارهم صادقة في حالات معينة. من المؤكد أنهم لم ينجحوا تماما، ولكن كما يحدث كثيرا في تاريخ الأفكار، كان ما وجدوه أكثر أهمية مما كانوا يبحثون عنه.

كانت باكورة انتصاراتهم هي اكتشاف مبرهنة فيثاغورث الشهيرة عن المثلث القائم الزاوية. لا أحد يعلم كيف فعلوا هذا، إلا أن أغلب المؤرخين يتفقون على أنهم لا بد أقاموا برهانهم على شكل هندسي يتيح للعين النابهة المتيقظة أن تدرك المحصلة مباشرة. بعبارة أخرى، مبرهنة فيثاغورث، شأنها شأن مبرهنة طاليس عن الخطين المتوازيين، ليست دليلا كافيا على حدوث تقدم حاسم في التفكير، وهي شاهد يقيني فقط على مغزى للملاحظة بالغ التطور. الأرجح أن هذه المبرهنة حقيقة لوحظت، وليست نتيجة لتفكير صارم، بيد أنها كانت أيضا دعوة لإمعان النظر في العدد السري لقياس قطر المربع، ما نسميه الجذر التربيعي للعدد «٢»، أي كسر كان هذا؟ - لأنه لا يمكن إلا أن يكون كسرا تشكل من الأعداد الجديرة وحدها أن تحكم العالم: الأعداد الصحيحة.

عند هذه النقطة تدخل صورة رجل يستحق منا أسمى آيات الإعجاب، وهو رجل نجهل عنه كل شيء، حتى اسمه. كان بصدد التكرس للمشكلة، ولا شك أنه فعل ذلك في أعقاب كثيرين فعلوا المثل. نستطيع أن نتخيله شابا يافعا، اصطفاه الأقدمون بسبب عقليته التي تألقت وهو لايزال طفلا، إنه طفل إغريقي آت من جنوب إيطاليا. كثيرا ما أرى في أحلامي هذا الوجه المجهول لبطل العقول. يا لها من اندفاعة جريئة، لعلها تمخضت عن فشل بحوث عقيمة، أو ربما نقول يا له من حلم ضاغط دفعه إلى الجرأة على



التفكير في ما لا يقبل التفكير: هل يمكن أن يكون الأمر هو أن العدد المراوغ ليس له اسم، أي أنه لا يقبل الرد إلى الأعداد الصحيحة، حراس الانسجام والتناغم؟ كيف يمكن أن نطرد مثل هذا الشك؟

ربما نفترض أنه كان عليه أن يتأمل طويلا، يتلمس طريقه كما لو كان يسير في فياف بلا حدود أو معالم. فتلك هي المرة الأولى في تاريخ البشر، حيث يشرع إنسان في أن يؤسس بقوة العقل لا سواه حقيقة لا تقبل الدحض. إننا نجهل جزئيات حجته، بيد أن الاحتمالات ليست كثيرة، كما أن الوثائق التي خلفها رياضيون تابعوه على الفور وثائق حاسمة. لا يوجد حاصل قسمة للعددين الصحيحين مربعه يساوي «٢» وإثبات هذا يتطلب كل قوى الحجة المنطقية. لابد من تبيان أن كل مربع زوجي هو مربع عدد زوجي، وأن كل مربع فردي هو مربع عدد فردي، ذلك أنه يمكن دائما قسمة - و - بصورة متكررة (كلاهما على العدد نفسه) حتى يصبح واحدا منهما على الأقل عددا فرديا. وعلى وجه الخصوص يجب أن يكون المرء قادرا على مواصلة الحجة حتى يصل إلى النتيجة الناجحة، من دون أن يترك أي مخارج، ويثبت أن افتراض أن الجذر التربيعي للعدد «٢» هو حاصل قسمة عددين صحيحين إنما يؤدي بالضرورة إلى تناقض.

نستطيع أن نتخيل الأقدمين يهيلون التراب على وجوههم، إذ يعجزون عن الإطاحة بحجته التي لا تشوبها شائبة. كان ملعونا ويجاهر بالكفر والتجديف. ووفقا لإحدى الأقاصيص المتواترة، رأت الأرباب أن العدالة تقضي بهلاك سفينته. لكن لعل الأقدمين أنفسهم هم الذين ألقوا به في اليم في مركب موشك على الغرق بالقرب من الشعاب الحادة لشاطئ كالابري (*)، لعل هذا الرجل الذي أتانا بنور العقل قد لاقى حتفه على هذا النحو ليظل إلى الأبد مجهولا، ولم يكن رائده فيثاغورث إلا مبشرا.

لقد افتتح طريقا، سبيلا لا حدود له، وكان معلوما في ذلك الحين أن الذهن، المحبوك بالإرادة والمقيد بالصرامة، قد يجد منفذه إلى الحقيقة عن طريق الاستخدام الأوحد للكلام المحكوم بمهارة. لقد ولد المنطق ولادة حاسمة، ولن يتحداه متحد «في ما بعد»، ما لم يكن

(*) لا نعرف بشيء من اليقين إلا أن قبرا لهيباسوس الميتابونتومي Hippasos of Metapontum قد بُني وهو لا يزال حيا («دعه يعلن موته!» تعني «نحن نعتبره ميتا بالفعل» وليست تعني «نحن نريده أن يموت»). كل ما فعله أن كشف أمام غير المبتدئين سر ما لا يقبل القياس بالمعايير نفسها [المؤلف].



المتحدى قد ابتلعته التناقضات. في اللحظة ذاتها، ولدت الرياضيات، لأنها لم تعد مقتصرة على تبيان أن خاصية ما تصدق على مثال ما أو شكل ما، باتت الآن قادرة على إثباتها عن طريق العقل فقط. كانت الهندسة على وشك أن تشهر هذه الأداة الموسومة بميسم الجدة وتستخدمها لخلق عجائب أخرى.

أفلاطون واللوغوس

من المستحيل تماما أن نلامس نظرية المعرفة من دون أن نشير أولا إلى أفلاطون. ليس من المألوف اعتباره منطقيا، حتى وإن احتوت بعض محاوراته على مبادئ منطقية عديدة. على أن خبرته المنطقية ليست نسقية، وبعض القواعد التي قدمها خاطئة خطأ بينا. لقد كشف عن قدراته في مواضع شتى، في محاورة «ثياتيتوس» ومحاورة «السفسطائي»، حيث أثبت ذاته كأول فيلسوف للمنطق وذلك عن طريق طرح بعض الأسئلة الجوهرية التي لاتزال تسم بميسمها مواطن عديدة من العلم في عصرنا هذا: ما هو الصدق/ الحقيقة؟ وكيف لنا أن نعرفه؟ ما طبيعة العقل؟ وكيف تتأتى القدرة على استنباط حقيقة من أخرى؟ ما طبيعة التعريف؟ وما الشيء الذي يمكن تعريفه عن طريق الكلمات؟ حاول أن يقدم أجوبة عن هذه التساؤلات، لكننا لن نناقشها، على الرغم من الدلالة العميقة لها، مادامت قيمتها تاريخية فقط. ومن الناحية الأخرى، نجد أن السياق الذي أودع فيه هذه الأسئلة أهم كثيرا، وهو الذي يستحق أن نستدعيه الآن.

يفترض أفلاطون وجود الصور Form (تترجم أحيانا إلى المثل Ideas كمفرد علم)، وفي إحدى محاوراته المتأخرة، وهي «الجمهورية»، طور نظريته عنها لتكتسب نكهة فيثاغورية قوية. من الأسهل أن نحيط بفكرة الصورة عن طريق الالتجاء إلى أمثلة، وبدلا من استعارة أمثلة أفلاطون - التي تعتمد كثيرا على زمانها وأوانها - سوف نستخدم أمثلة مأخوذة من ديكارت، الذي يتمتع بفضيلة الوضوح الشديد: «حينما أتخيل مثلثا، حتى إذا كان من غير الممكن أن نجد مثل هذا الشكل في العالم، ولا يمكن أن أجده إلا في عقلي، وأنه لا يوجد أبدا، فإنه على الرغم من كل هذا يعرض طبيعة معينة، أو

صورة، أو ماهية محددة لهذا الشكل، ثابتة وأبدية، ولم أخلقها أنا، وليست تعتمد على ذهني بأي شكل من الأشكال، ويبدو لي أن هذا هو الوضع مادام المرء يستطيع أن يثبت خصائص معينة لهذا المثلث» (*).

إن المثال، بالمغزى الأفلاطوني، وكما وصفه ديكارت، ليس شيئا عينيا، شيئا يمكن أن نشير إليه. الشكل المرسوم على قطعة من الورق مجرد نسخة من المثلث، وليس المثلث - ماهية كل الأشكال الممكنة من النوع ذاته. والآن لا يشك أفلاطون مطلقا في وجود مثال للمثلث، شيء ما مكتمل، ليس في هذا العالم، وليس مجرد التمثل الذهني لمجموعة من الأشكال، لا يعدو كل منها أن يكون فكرة معينة، تستحق على أفضل الأحوال أن تكون حالة دنيا من حالات المثال. إن المثال «صورة»، أي مثال، قولبة مكتملة حيث تتبوأ الأفكار الدنيا منزلة عينات لنموذجها القدسي عديدة رهن التداول. سوف نقتبس فقرتين من محاورة «الجمهورية»، الفقرة الأولى تؤكد تفرد النموذج الذي ينطبق عليه تجليات عديدة له: «مادام الجميل هو نقيض القبيح، فهما اثنان. ومادامًا اثنين، فإن كلا منهما واحد. وتصدق الفكرة نفسها على العدل والظلم، وعلى الخير والشر، وعلى كل الصور. كل صورة هي واحدة في ذاتها، لكن لأنها تكشف عن ذاتها في كل مكان في ارتباط مع الأفعال والأجسام ومع الصور الأخرى، تبدو كل صورة وكأنها صور عدة».

ويوضح الاقتباس الثاني طبيعة المشكلة التي تزمع نظرية الصور حلها، وهي مشكلة تفسير القوة الوصفية للغة وقوتها البرهانية كلتيهما: «لقد اعتدنا أن نفترض صورة منفردة لكل من الأشياء المتعددة التي ينطبق عليها الاسم نفسه». وبهذا نجد سبيلا إلى الحقيقة بواسطة العقل، لأن اللغة تشير مباشرة إلى الصور، التي تتمتع بوجود حقيقي وتشكل قولبة لكل أشياء الدنيا.

ليست تنتمي الصور إلى هذا العالم. إنها تقيم في عالم خاص بها، عالم من السمو يسميه أفلاطون اللوغوس، ولكي يوضح أفلاطون هذا العالم التجأ إلى أسطورة الكهف: البشر يشبهون مساجين مقيدين منذ الميلاد إلى جدران كهف يمثل عالمنا الأرضي. أما العالم الواقعي، العالم الحقيقي، عالم اللوغوس، فهو العالم الكائن خارج الكهف، عالم يغمره الضوء الكثيف، يتحرك

(*) ديكارت، التأملات في الفلسفة الأولى، الطبعة الخامسة [المؤلف].



فيه البشر بحرية، وفيه أشجار وحيوانات تعبر أمام الكهف. تلقي الشمس بظلالها على جدار الكهف، والمساجين لا يرون إلا هذه الظلال، فيتصورونها الواقع الوحيد.

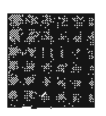
إذن ، يجب أن نبحث عن قوة التعريف ومبدئه في وجود المثال، الذي يسدي في تحرير الصورة المتفردة من مظاهرها المتغيرة وتجلياتها المتعددة. إن المقدرة على التفكير، إي إمكان البرهنة ذاك الذي أشار إليه ديكارت في الاقتباس الأسبق، تنتج عن وجود صور خاصة معينة تتصل بكل الصور الأخرى، تلك التي يمكن التعبير عنها بكلمات من «الوجود» و«الذاتية» و«الآخر».

سوف يهاجم أرسطو نظرية المثل، إلا أنها سوف تعاود الظهور مرارا وتكرارا في أشكال شتى. ونعرف على الأقل الأهمية الفائقة في اللاهوت التي تحتلها فكرة مملكة الرب التي هي أصدق وأكثر حقيقية من العالم المخلوق. وسوف تظل المفاهيم الأفلاطونية مصونة في المبدأ الفلسفي عن الواقعية، الذي شاع وذاع في العصور الوسطى، وتبعا له تشير الكلمات والأفكار إلى الصور التي تتمتع بوجودها الخاص بها، وهو وجود أسمى وأرفع من هذا الواقع الذي ندركه بحواسنا الغشوم. ويمكن أن نجد في عصرنا هذا جانبا من الفكرة نفسها في ما يسمى بـ «الواقعية الرياضية»، التي يأخذ بها جمع غفير من الرياضيين، يعتقدون - مثل ديكارت - أن المفاهيم الرياضية لها وجود مستقل، من نوعية تختلف عن العالم المادي.

منطق أرسطو ومنطق كريسبوس

من الأفضل في الوقت الحالي أن نضع جانبا تلك التساؤلات العسيرة التي أثارها أفلاطون، ونعود إلى المنطق من حيث هو علم ومن حيث هو منهج، في ذلك العصر الذي كان لايزال يبحث عن القواعد الخاصة به. ليس الهدف تحديد مصدر قوة المنطق في الإقناع، بل إن هدفنا أكثر تواضعا وعملي أكثر: أن نتعلم كيف نفكر بطريقة صحيحة، بحذر يكفي للحيلولة دون الخطأ.

منذ البواكير الأولى، يمكن أن نجد مفتتح مجالين مختلفين للتطبيق. أحدهما هو الرياضيات، بينما يهدف المجال الآخر، وهو كثيرا ما يصطبغ بالبلاغة، إلى الاستعمال الصحيح لكلمات وتصورات الحياة



اليومية. دائما يتأرجح المنطق بين هذين القطبين. المجال الأول، بصميم طبيعته وبحكم خصوبته، يتقدم ببرهان كافٍ على قوة المنطق، وسوف يجد المنطق أخيرا صورته الخالصة في علاقته العميقة بالرياضيات، وإن كان هذا سوف يحدث بعد ما يربو على ألفين من السنين. من الناحية الأخرى، لن يكف المجال الثاني - مجال الكلمات والأشياء العادية - عن التذكرة بالعديد الجم من فخاخ وأحابيل متربصة بالمنطق بفعل غموض الكلمات أو نقصان المعرفة بالأشياء، وفي هذا النطاق سوف يعمل المنطق أولا على تنقيح ذاته.

ورثنا عن الحضارة الإغريقية منطقا صحيحا، تم بناؤه عبر قرون عديدة. وقد أسهمت في تشييده مدرستان مختلفتان، وهما في الأعم الأغلب متقابلتان. من حيث الترتيب الزماني، نجد أن المدرسة الأولى هي المدرسة الميغارية، نسبة إلى مدينة في أتيكا، في إسموث من كورينث. كان مؤسسها هو أقليدس الميغاري، على ألا نخلط بينه وبين أقليدس الشهير من مدرسة الإسكندرية. كان صاحبنا أقليدس معاصرا لأفلاطون ووريثا للتقليد الإيلي الصادر عن بارمنيدس. وعن المدرسة الميغارية بدورها سوف تنشأ مدرسة الرواق، أو الرواقية، التي تتميز بجديتها في بحوث المنطق، ويعود الفضل على وجه الخصوص إلى أعمال كريسبوس Chrysippus (٢٨١ - ٢٠٥ ق.م). أما المدرسة الكبرى الأخرى، مدرسة المشّائين فقد أسسها أرسطو (٣٨٤ - ٣٢٢ ق.م).

وسوف نترك للمتخصصين تحليل أوجه الاختلاف والتماثل بين هاتين المدرستين - واللتين اقتربتا إلى حد كبير في خاتمة المطاف. الأهم بالنسبة إلينا أن نحدد إسهامهما المشترك. وسوف نفعل هذا عن طريق الارتكاز قدر الإمكان على الأفكار المحدثة التي نبحث عن تحديد أصلها ومنشئها - ولا شك أن هذه المقاربة عرضة للنقد.

من المعروف جيدا أن أرسطو اعتبر التفكير عن طريق القياس هو النموذج النمطي المكتمل للمنطق. وعبر القرون يصل إلينا المثال الذي استخدمه، وهو أيضا مثال مألوف جدا: «كل الناس فانون، سقراط إنسان، إذن سقراط فان»، والحق أن القياس لا يستحق كل ذلك الاهتمام الذي حظي به، لأنه يؤدي إلى نسق للمنطق محدود في مجاله، وقد هُجر منذ وقت طويل.



ومن الصعب أن نجد في أي كتاب رياضيات مدرسي، قديما كان أو حديثا، مثالا مقنعا للقياس.

إن أهمية تحليلات أرسطو تكمن في جانب آخر تماما، وقبل كل شيء في دراسة مقدمات من قبيل «سقراط فان»، «المثلث له ثلاثة أضلاع» وهكذا دواليك. يلاحظ أرسطو أنها ليست جملا بسيطة، بل هي قضايا أي تحتفظ بالمعنى نفسه بغض النظر عن صياغة خاصة لها. مثلا، الجملة «سقراط فان» تعني عين ما تعنيه: «سوف يأتي يوم ما لا يعود فيه زوج زانثيبي (*) موجودا» وهي جملة لا يوجد بها كلمة واحدة كانت في الصياغة الأولى. واستنتج أرسطو أن المنطق يبدو غير منفصل عن اللغة، إلا أنه يقع في مستوى بنائي أعلى (أو على الأقل مختلف)، وهو مستوى يقع في مجال المعنى ونسميه السيمانطيقا.

ليس من السهل دائما أن نتحدث اللغة بمعزل عن السيمانطيقا، أو نقول الجملة بمعزل عن القضية، وكثيرا ما سوف يتورط المنطق في صعوبات من هذا القبيل. أجل، الكلمات قد يكون لها ألف معنى ومعنى، وألف دلالة ودلالة، وحين نقول مثلا إن «سقراط وردة» لا يبدو واضحا على الإطلاق أننا قلنا قضية، لأن مقارنة شخص بوردة ينطوي على تأويلات رمزية عديدة. إن القضايا هي البيادق التي يحرِّكها المنطق قدما، يضمها معا، يوازن أو يقابل أو يربط بينها، ليخلق تشكيلات جديدة. كيف يفعل المنطق هذا؟ يلاحظ أرسطو وأقليدس الميغاري أن القضايا قد تتخذ صورتين، مختلفتين وفي الآن نفسه لا ينفصلان، إحداهما موجبة والأخرى - على العكس منها - سالبة، على سبيل المثال «سقراط فان» و«سقراط ليس فانيا». ليس ينحصر المنطق في اكتشاف الصدق وإعلانه، كما يفعل الكاهن العراف، بل إنه قبل البت والحسم يضع مبدئيا وعلى قدم المساواة ما قد يكون في آخر المطاف صادقا أو كاذبا. ويقوم هذا على قاعدة ندين بها لأرسطو، وهي مبدأ (أو قانون) الوسط الممتنع: القضية لابد أن تكون إما صادقة أو كاذبة. وحتى يومنا هذا، لا يزال ذلك المبدأ هو حجر الزاوية للمنطق، وأي شيء يتخذ شكل القضية ثم لا يطيع هذا المبدأ إنما يُحظر عليه دخول جنة المنطق.

(*) زانثيبي: زوجة سقراط وأم أبنائه الثلاثة [المحرر].



وأيضا يقتحم أرسطو أراضي جديدة، إذ يميز بين القضايا الكلية («كل إنسان حي له رأس»)، وبين القضايا الجزئية («بعض الناس لهم شعر أحمر»)، وعيّنَ الاختلاف بينهما بمنتهى الوضوح. وقد وضع المنطق الرياضي الحديث رموزا خاصة لكل من هذين الشكلين، تنص على البدء بأنه «بالنسبة إلى كل» (أو «كل») في القضية الكلية، و«يوجد» في القضية الجزئية. وعلى هذا يصبح المثالان المذكوران آنفا «كل البشر الأحياء لهم رؤوس» و«يوجد رجال لهم شعر أحمر».

لن نواصل المسير مع أرسطو أبعد من هذا، وبدلا من ذلك سوف نتجه إلى أعمال الرواقيين، وخصوصا أعمال كريسبوس. والجدير بالذكر أن كلمنت السكندري Clement of Alexandria دأب على الإشارة إلى كروسبوس بوصفه أستاذ المنطق مثلما يشير إلى هوميروس كأستاذ فن الشعر وأرسطو كأستاذ العلم وأفلاطون كأستاذ الفلسفة.

بدلا من القياس الذي سرعان ما يغدو ثقيل الوطأة لا يطاق إذا تزايد عدد المقدمات، يوجه كروسبوس الأنظار إلى أشكال أبسط وأفضل للربط بين القضايا. إذ يكفي الاستخدام الحكيم للكلمتين القصيرتين «أو»، «و». يُعنى كروسبوس عناية خاصة بالتمييز بين «أو» الاستبعادية و «أو» غير الاستبعادية، لعل الأولى تناظر على الأرجح «إما، أو» («إما أن تشتري الجريدة أو أن تعيدها إلى الرف»)، بينما تسمح الثانية بإمكانات عديدة ليس من الضروري أن تكون غير متوافقة («أنا أستمتع بقراءة الروايات أو الكتب المسلية»، ليست استبعادية - لأن بعض الروايات قد تكون مسلية).

اضطلع كروسبوس بوضع القواعد الملائمة لمعالجة ما نسميه الآن الدوال المنطقية «و»، «أو»، «ليس». سُميت دوالّ، تماما كما نقول الدوال الرياضية، لأنها تلحق شيئا محددا تماما بشيء واحد أو أشياء عديدة معطاة - الأشياء في حالتنا الآن هي القضايا. إذا كان المعطى هو القضية أ، فإن الدالة «ليس» تحدد قضية أخرى هي «لا أ»، وبالطريقة نفسها إذا كان المعطى هو القضيتان (أ، ب)، فإنه يمكن تكوين قضية جديدة هي «أ و ب»، والمثل بالنسبة للدالة «أو»، لم يقتصر كروسبوس على تحديد الترابطية، بل أيضا وضع قواعد دقيقة تتعلق بالقضايا المؤلفة، من قبيل «أ و أ» = أ، «أ و لا أ» مستحيل (وهذا هو قانون الوسط الممتنع). وثمة ما

يربو على اثنتي عشرة قاعدة تعود إلى كروسبوس على الرغم من صعوبة التمييز بين إسهامه وإسهام خلفائه. ولنلاحظ، بشكل عابر، أن استخدام الحروف لتمثل القضايا كما فعلنا الآن، وأيضا كما فعل أرسطو وكروسبوس، ممارسة شاعت بين الإغريق.

وبالمثل كانت فكرة الاستنباط البالغة الأهمية معروفة ومستجلاة تماما، يُسمى الاستنباط كذلك الاستدلال المنطقي أو اللزوم. يتأتى الاستنباط في جمل من قبيل «إذا كان أ، فإن ب»، نشير إليه عادة بالصياغة أ ⇐ ب. وتتفق الأطراف على أن الاستنباط له الأهمية الفائقة في المنطق، فإليه يعود الفضل في أننا نستطيع بناء حجج تسير من الفروض إلى الاستنتاجات. وكذلك ظهرت في ذلك الوقت قاعدتان لهما دلالة بالغة: قاعدة التعدي transitivity، وتبعا لها أ ⇐ ب و ب ⇐ ج تفضي إلى أ ⇐ جـ، وقاعدة التبادلية reciprocity التي تنص على أن القضيتين الشرطيتين أ ⇐ ب و لا ب ⇐ لا أ قضيتان متكافئتان. وأخيرا، استبانت طبيعة الصدق المبدئي. هناك قضايا نفترض صدقها منذ البداية، إما لأنها واضحة بذاتها (البديهيات) وإما لأننا اتفقنا على قبولها (المسلمات).

بشكل عام، اقتُحمت أساسيات المنطق قبل أن تنتهي العصور القديمة. وفي كل حال، ينطوي المنطق على الجم الوفير، على أن الكثير من المحصلات اللافتة لا تنتمي إليه مباشرة بل هي نتيجة لحقيقة مفادها بأن تطور العلوم الفيزيائية إنما هو اقتفاء لخطى علم التفكير. وأيضا سوف يكون نصيب قطاع كبير من خبرة الرواقيين المنطقية هو الإهمال أو سوء الفهم عبر ردح طويل من الزمان، بسبب الفهم المشوب بالنقصان إبان العصور الوسطى، وجرت الوتيرة على بخس قيمتها لحساب أعمال أرسطو (وشرّاحه). ومجددا في العصر الحديث سوف يكون التجاوز والتغاضي هو نصيب المعرفة القديمة، من الواضح أن حضارتنا خاصمت المنطق حتى كانت انبعاثته إبان القرن التاسع عشر.

ودعنا نوجز سجايا هذا المنطق، لكي تكون فيما بعد رهن الاستعمال بين الفينة والأخرى: أولا، من الضروري أن نحدد مجال القضايا●، أو مجال الفكر (بالألمانية Denkbereich). من الواضح أن هذه القضايا تتبع قانون الوسط

● حاولنا الحد من استخدام المصطلحات الفنية المتخصصة، مع هذا يبدو بعضها ملائما ومواتيا، حتى وإن لم يكن مألوفا للقارئ. وقد وضعنا في نهاية الكتاب معجما موجزا. وهذه العلامة الدائرية تشير إلى مصطلح يحتويه هذا المعجم، حين يرد في متن الكتاب لأول مرة [المؤلف].



الممتنع، ثم تأتي البديهيات، وهي يمكن أن تكون حقائق أو مبادئ أو مجرد فروض، واضحة بذاتها. القضايا تنشأ عنها قضايا جديدة من خلال استخدام الدوال المنطقية «و»، «أو»، «ليس»، يعتمد صدق أو (كذب) الدوال المنطقية عما إذا كانت تمكن إقامتها عن طريق الاستنباط من الصدق (المفترض) للبديهيات.

ويبقى كتاب إقليدس «مبادئ الهندسة» هو العمل العمدة في المنطق القديم، ولا يختلف اثنان على هذا، من الواضح أنه مكتوب بشيء من التأثر بكريسبوس، على الرغم من حقيقة مفادها أن القطبين الرياضي والمنطقي كانا متعاصرين (على أن الأول عاش في الإسكندرية والثاني في أثينا). يبدو المنطق الملائم أقل وضوحا من الرياضيات الملائمة، لأنه فشل مرارا وتكرارا في إبلاغ رسالته، وجرى توظيفه في معالجة موضوعات ضبابية مستغلقة: الطبيعة والآلهة.

المفارقات

من حيث الأغراض العملية جميعها، ينتهي مع القرن الثالث قبل الميلاد تاريخ ما أسميناه المنطق الكلاسيكي. لقد جف رحيقه. أجل، سوف تنبعث فيه الحياة بفعل الفلسفة المدرسية في العصور الوسطى، لكن من دون أدنى إضافة إلى مادته المعروفة سلفا - بل العكس هو الصحيح كما رأينا - فقد ضاع جانب من معنى الأفكار الرواقية. والمثير حقا للدهشة أن يمثل عصر النهضة والحقبة الكلاسيكية تراجعا وارتدادا. أما المنطق الذائع الصيت لفلاسفة بور رويال Port-Royal، آرنولد ونيقولا، فلا يضاهي بحال أعمال ألبرت الأكبر ووليم الأوكامي في العصور الوسطى. ولعل تطور العلم في ذلك الوقت هو سبب تراجع المنطق. فبدلا من السير عبر سبل التفكير الخالص ومن المسلمات التي كثيرا ما تكون عشوائية، وجد العلم اندفاعة مستجدة من خلال الملاحظة والتجريب. قلة هم المفكرون الذين كانوا آنذاك يرمقون وهج المنطق المتأرجح؛ ولا واحد منهم يعد من المفكرين العظام إلا ليبنتز Leibniz، ولعل هذا، على وجه التحديد، هو الذي تأدى إلى ميلاد العلم، إنه إهدار عبء النزعة الذهنية وأحلامها الخادعة. والواقع أن المنطق لن يعاود الظهور إلا في القرن التاسع عشر، تحت ضغط أسئلة جديدة وعسيرة أثارتها الرياضيات.



سوف نتجه مباشرة إلى المناحي الأساسية في المنطق، التي ظلت في سكون وهمود لحقب مديدة، فقط لكي نلتقط بعضا من بذور حكمة الأقدمين. وكما ذكرنا توا، من الملائم ألا نأخذ في الاعتبار إلا القضايا التي تستوفي قانون الوسط الممتنع. ليس يسهل دائما استيفاء هذا الشرط، ويمكن أن يؤدي انتهاكه إلى المفارقات. من حيث الأصل الاشتقاقي اللغوي، نجد أن المفارقة Paradox، هي قضية يبدو من ظاهرها أنها تقول شيئا ما مناقضا للحس المشترك، وشيئا فشيئا حل محل هذا المعنى شيء ما اعتدنا أن نسميه تلاعبا بارعا بالألفاظ (إنها الدقة الأثيرة لدى المناطقة والتي تلامس أحيانا حدود التحذلق)، أي قضية متهافتة، كثيرا ما تتسم بالتناقض الذاتي.

كانت المدرسة الميغارية تستمتع بتبادل المفارقات، غالبا في صورة لاهية، كما يتضح من المثال الآتي الذي يقوم على «ذي القرنين»، وهي كلمة نتهامس بها عن الغدر بين الأزواج. يبدأ المثال بالمقدمة «الذي لم تفقده، مازلت تملكه». وما أيسر أن يسلم الساذج بهذا، فقط عليك أن تخبره، «أنت لم تفقد قرنيك، إذن فمازلت ذا قرنين»، وفي أعقاب هذا تتعالى الضحكات الجذلانة في ميادين ميغاريا. ولعلك تعتقد أن هذا مجرد دعابة، إلا أن بعضا من حجج أفلاطون ذاته، التي نفترض أنها ذات أهمية، لم تكن أفضل كثيرا من هذا. ففي ذلك الوقت كان المنطق لايزال يتلمس طريقه، وعلمته المفارقات كيف يتقي شر الأحابيل التي ينسجها هو ذاته.

يعود تاريخ المفارقات إلى وقت أقدم من هذا. فقد كان السلف الأول هو زينون الإيلي تلميذ بارمنيدس والأكبر سنا من أقليدس الميغاري. أراد زينون أن يدافع عن حجة بارمنيدس القائلة «إن الوجود ثابت»، في مواجهة اعتراضات خطيرة آتية عن طريق هيراقليطس، ونقد آخر أقل خطورة آتٍ من الحس المشترك. أجل، يقولون إن قضية بارمنيدس خلف محال، لأن كل شيء يتحرك، بما في ذلك القبة السماوية، ولا مكان في هذا العالم يتسع لذلك الثابت الأبدي. يرد زينون بأن هذا خطأ ووهم، فلا وجود للحركة، لأنها تناقض ذاتها. وهاكم برهاني: هل يستطيع أخيل أسرع العدائين أن يصل إلى حلبة السباق في الملعب؟ إنه يحتاج إلى فترة من الزمن لكي يقطع نصف المسافة إليها، وفترة أخرى لكي يقطع نصف المسافة المتبقية، وهكذا دواليك. وبالتالي يحتاج إلى عدد لا متناهٍ من الفترات الزمانية كي يصل إلى حلبة



السباق، بيد أنكم تتفقون على أن تلك فترة من الزمان لا نهاية لها. وهكذا أوقف زينون أخيل، «إن العداء العظيم ساكن لا يتحرك» فقط عن طريق الكلمات لا سواها.

لم تعد هذه المفارقة تكدر بالنا، إذ نعلم أن حاصل عدد لا متناه من لحظات الزمان (غير المتساوي) قد يكون متناهيا. إلا أن هذا المثال شائق، لأنه يُذكِّرنا بمبلغ الدهاء والفطنة الذي يمكن أن تبلغه المعالجة المنطقية للا تناهي. لقد وقع توما الأكويني نفسه في أحابيل الخطأ بفعل اللاتناهي، ويعود الفضل إلى اللاتناهي في فرصة الميلاد الجديد التي أتيحت للمنطق، أخيرا في القرن التاسع عشر.

ولنذكر الآن آخر مفارقة من مفارقات الميغاريين، وهي لا تزال شائعة وذائعة: إنها مفارقة الكذاب. وها هنا لا نفهم من «الكذاب» مجرد شخص اعتاد أن يكذب، بل هو شخص لا يقول الصدق أبدا. وأكثر الصور المألوفة لهذه المفارقة تسير على النحو التالي: «يقول إبيمنايدز الإقريطي [= الكريتي، أي من جزيرة كريت] Epimenides The Cretan، إن كل الإقريطيين كذابون»، ومن الواضح أنها مفارقة: إذا كان قول إبيمنايدز صادقا، فإن إبيمنايدز مثال لإقريطي يقول الصدق، هو إذن كذاب، ويجب أن يكون عكس ما يقوله - الإقريطيون لا يكذبون أبدا - صدقا، إنه إذن هو يخبرنا بالحقيقة.

ليس هذا المثال مجرد مفارقة، إنه يبين لنا كيف يمكن التلاعب بمعنى الكلمات. والواقع أن نفي «كل الإقريطيين كذابون» يكون «بعض الإقريطيين يقول الصدق (أحيانا)» - وليس «الإقريطيون لا يكذبون أبدا»، إذن ثمة مخرج. ولكن ماذا عن الرجل الذي يعلن «أنا كذاب»، فإما أنه يقول الصدق، بالتالي فهو بالتأكيد يكذب، وإما أنه يكذب، وفي هذه الحالة فإنه يقول الصدق. والخروج من هذه أصعب فعلا، ونستطيع أن نتبين أن موضع الاستشكال هنا هو قانون الوسط الممتنع.

سوف يقسم المنطق الحديث المشكلة إلى اثنتين. فقد درس فلاسفة اللغة الأنغلو سكسون القضايا من نوع «س يقول إن...»، ويعتقد المناطقة بشكل عام أنها لا تنتمي إلى ميدان المنطق. بيد أن ثمة زاوية أخرى في مثال إبيمنايدز: عضو (إبيمنايدز) في فئة (الأقريطيين) يرد في قضية تشير إلى الفئة بأسرها. أدرك المناطقة الدلالة البالغة لهذا الجانب، ووجب عليهم أن يتوخوا أقصى الحذر حين استخدام كلمة «كل».

ثمة درسان نتعلمهما من كل هذا وهما وجوب الحرص على عدم الاستسلام للخلف المحال absurd حين معالجة اللامتناهي، وانطباق الأمر ذاته حين معالجة الكُليّة.

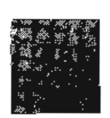
فكرتان مفيدتان

في حديثنا التالي، سوف تتاح الفرصة لاستخدام فكرتين من مجال المنطق. الأولى فكرة أساسية، ونشير إليها عادة بمصطلحها اللاتيني: modus ponens أي قاعدة الإثبات أو الوضع (*)، أما الفكرة الثانية، التي تنتمي بالأحرى إلى فلسفة المنطق، فتتعلق بـ «نصل أوكام Okham's razor».

قاعدة الإثبات أو الوضع موضوع أساسي في المنطق البحت. وعلى الرغم من أن أبيلارد Abélard (١٠٧٩ - ١١٤٢) هو الذي صاغها بوضوح، فإن القدامى عرفوها فعلا، منذ أن استخدمها أقليدس (الرياضياتي) استخداما منهجيا ليثبت مبرهنات جديدة عن طريق مبرهنات قديمة من دون أن يعود مجددا إلى البديهيات والمسلمات الأولية. وفي الحياة اليومية يستخدم كل صنوف البشر - المهندسون والفنيون والباحثون والمعلمون والطلاب - قاعدة الإثبات في كل مرة يستخدمون فيها مبرهنة أو صياغة لا يتذكرون تفاصيل إثباتها. وأساسا لدينا الشيء نفسه في المنطق: إمكان البدء، في منتصف الحجة، من قضية مثبتة قبلا، من دون أن يكون لزاما علينا تبرير كيفية إثباتها. إن المناطقة المحدثين، الذين هم حريصون على عدم إخفاء أي شيء تحت البساط والتغاضي عن مسوغاته، قد بيّنوا صحة وسلامة قاعدة الإثبات.

أما «نصل أوكام» فأقرب إلى أن يكون مبدأ مساعدا للتفكير، قادرا على التشذيب في مجالات أخرى كثيرة بخلاف الفلسفة والمنطق. إني أذكره الآن بيد أنني لن أستعمله إلا في خواتيم الكتاب. كان أوكام فرانسيسكانيا، ولا نعرف عنه إلا عام وفاته، العام ١٣٤٩ أو ١٣٥٠، ولعله كان المثال الذي انتقاه أمبرتو إيكو Umberto Eco ليكون بطل روايته «اسم الوردة The Name of the Rose»: رجلا مرهف الحس، وعقلية حادة ومؤلفا غزير الإنتاج. إنه معروف بشكل

(*) كما أشرنا في موضع سابق، هذه العلامة النجمية تعني أن المصطلح وارد في المعجم الملحق بآخر الكتاب، من ناحية أخرى نلاحظ أن هذا بدوره يعني أنه مصطلح يقوم بدوره في النسق الفلسفي المعروض في هذا الكتاب [المترجمان].



أفضل في شوارع أكسفورد بسبب القاعدة التالية، نصل أوكام: Entia non suni multiplicanda sine necessitate «يجب عدم زيادة عدد الكيانات بغير حاجة»، أو لماذا تستخدم الأكثر بينما الأقل يكفي؟ لا تتصور عللا متكثرة بينما علة واحدة تكفي، حاول دائما أن يكون عدد فروضك هو الحد الأدنى، حدّد مجال خطابك بأقصى قدر مستطاع من الدقة). في المنطق، لا تكثر من عدد البديهيات، واستبعد أي زيادات، كما فعل أقليدس في كتابه. ولا تتردد في تطبيق المبدأ نفسه على الميتافيزيقا: حين تشير إلى الرب من حيث هو الخالق، فلا معنى لأن تفترض محمولات أخرى سوى الخلق، لأنها حاضرة بالفعل في طبيعة الرب. والعكس بالعكس، إذا لم تحل بك النعمة أو لم يكشف لك الحدس عما تكون هاتيك الطبيعة المقدسة، لا تثقل تأملاتك في طبيعة الدنيا بأفكارك عن الرب. افعل المثل كذلك في الفلسفة وفي العلم، عن طريق تقليل عدد المبادئ. وسوف يتحصل عن هذا وضوح وجلاء.

الكليات

سوف نختم هذا الفصل بصفحة مهمة من تاريخ المنطق، مكتوبة في العصور الوسطى. هو بلا شك مثال تاريخي أوحد على طرح سؤال يتعلق بالمنطق لتدور حوله مناقشات مشبوبة، ويستثير مناظرات عامة لا نهاية لها، يتدخل فيها الملوك والباباوات والقساوسة. هذا على وجه الدقة ما حدث في القرن الحادي عشر، حيث نجد زمرة صغيرة من الطلاب ورجال الدين، جاشت مجامع صدورهم في شأن سجال فلسفي يعارض عظام مفكري العصر. بعضهم معروف خارج الدوائر الفلسفية حتى يومنا هذا. من ذا الذي لم يسمع عن أبيلارد، أستاذ الجذب والاستدراج، الذي عرف كيف يستثير حماس طلبة مجعجعين، تواقين إلى انبعاثة جديدة للمعرفة؟ من ذا الذي لا يعرف القديس برنارد، واعظ الحروب الصليبية الذي أعاد بناء حياة الأديرة، وقد جعلته شخصيته الشفوقة المتصوفة، وما يصاحب الشفقة والتصوف في منزلة أعلى من منزلة الباباوات والملوك؟ كانت المناظرات تعارض هذين الرجلين، وبالمثل تعارض جمهرة لا تحصى عددا تقف من ورائهم، ذلك لأنها سوف تستمر على مدى قرنين من الزمان.

إنها المناظرة التي يطلق عليها مناظرة الاسمية - الواقعية nominalism-realism، وتتعلق بسؤال يقع في صميم فلسفة المنطق، له من الأهمية ما يجعله يكسو الإطار بأسره، وأيضا يكسو الطبيعة ويكسو الفلسفة. إنه السؤال حول قيمة اللغة من حيث هي وسيلة لإحراز الحقيقة، أو بعبارة أخرى، أسس فلسفة المعرفة. وكما لاحظ برتراند رسل عن حق في كتابه «تاريخ الفلسفة الغربية»، أثارت هذه المساجلة سؤالا ظل مواتيا على الدوام، ويقع في سويداء الفكر المعاصر.

كانت الصياغة الأصلية للسؤال أدق، وفي الآن نفسه أضيق من الصياغة التي اصطنعها رسل فيما بعد. إنها تحمل بين طياتها الفلسفة كما كانت تُدرس في ذلك العصر، خاضعة للتأثير المشترك لأفلاطون وأرسطو. ما طبيعة «الكليات universals»؟ وهذا مصطلح من الناحية العملية لم يختفِ أبدا من لغتنا، ويستخدم لتحديد المفاهيم المرتبطة بالكلمات. الكلي - على هذا - اسم مولد من قبيل «إنسان»، «طيبة»، «حيوان»، «روح»، «وجود»، ومجمل قاموس الفلسفة في سعيها نحو المعرفة. تتقدم المعرفة عن طريق التحليل المنطوي على استعمال حصيف للكلمات، ويجري التعبير عن حصائله بالكلمات، وقد كان النمط الكلامي هو النمط الوحيد للبحث في العصور الوسطى، ارتباطات لا نهاية لها بين الكلمات. وبالتالي كان الاتفاق على معنى اللغة ودورها، ولاسيما طبيعة الكليات، أمرا جوهريا وأوليا بالنسبة إلى أي تطور في الفلسفة. ولا يفوتنا أن غرض الفلسفة الأولي هو خدمة أسس اللاهوت، فلا تعدو أن تكون حواشي مدرسية على الرسالة السماوية، التي تكشف عنها الكلمات وفي الآن نفسه تلقي عليها ضبابا - بيد أننا لن نركز على هذا الجانب بالذات.

ثمة أطروحتان تعارضتا منذ البداية. سوف نحاول طرحهما بإيجاز من دون أن نزعم أي اكتمال لعرضهما، وأيضا لن نحاول تتبع تطورهما عبر الزمان. القضية الأولى هي قضية مؤيدي الواقعية. إنها النظرية الأفلاطونية العظيمة، حيث نجد المُثل (أو الكليات) واقعية. على أي حال، لا يذهب الواقعيون في العصور الوسطى مذهب أفلاطون فيزعمون أن المُثل أكثر واقعية من الواقع المادي؛ ومع هذا اعتقدوا أن الرب يدركها ليكون لها كل الخلود والأبدية. أما وجهة النظر المعارضة فهي الاسمية. وسوف يُقدر لهذه الأطروحة الثانية أن تظفر بالقطاع الأعظم من النقاش، وكلما تطور النقاش ازدادت تنقيحا وتشذيبا. وقد ظهرت أصلا في صورة بلغت من الشفافية



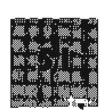
حدا، جعلها تبدو وكأنها تسخر من ذاتها: المفاهيم العامة لا تعدو أن تكون تعبيرات رنانة تطلقها الأفواه حين تنطق الكلمات؛ مجرد أصوات نستخدمها في وصف ما نلاحظه، بطريقة عشوائية إلى حد ما. أو كما أشار روسلينو Roscelinus - وهو واحد من أوائل من اقتحموا حلبة النقاش - الكليات مجرد إطلاق لأصوات (*).

لا يسهل تحديد الرابح في هذه المناظرة، واختلفت التأويلات تبعا لاختلاف المصادر، هل الدومينكان (وأبرزهم ألبرت الأكبر وتوما الأكويني) أم الفرنسيسكان (ومعهم دانز سكوت Duns Scotus ووليم الأوكامي). بشكل عام، ساد مع الأيام شكل معتدل من أشكال الاسمية. تتأمثل الكليات تبعا للواقع المتاح للبشر (الذي يتضمن جانبا من الواقع العلوي). يعرض الواقع نظاما معينا، يسفر عن تماثلات نسميها، وفقا لدرجة العمومية، الجنس genus (مثلا شجرة أو حجر أو إنسان) أو النوع، species (مثلا بلوط أو ياقوت أو شهواني). إلا أن العقل البشري يملك إلى حد ما سلطة اصطفاء ما يشاء من معايير وحدود للمقولات التي يقرر تسميتها.

إنها لحقبة قصيرة من الزمان تفصل بين الأئمة العظام لنهايات العصر المدرسي وبين الارتجافات الأولى للعلم. حينذاك سوف تتجه البؤرة إلى النظام الحاضر في الطبيعة، والذي يقبع في أصول التطبيقات العملية والسيمانطيقية (الدلالية) للكليات. وحتى منهج البحث الذي تطور خلال عصر النهضة انطوى على مقارنة الكلمات المستخدمة في الإشارة إلى أحداث الطبيعة. وأيا كان الوضع، فإن جذوة السؤال عن سيمانطيقية المنطق، لن تتوهج من جديد إلا مع جون لوك وديفيد هيوم. وحينذاك سوف نواجه هذا السؤال مجددا.



(*) Roscelinus روسلينو راهب كاثوليكي من القرن الحادي عشر (١٠٥٠ - ١١٢٠)، له إسهاماته في القضايا الفلسفية اللاهوتية، لكن لم يبق من كتاباته إلا رسالة موجهة إلى القديس أبيلار، مع ذلك يعد من أكثر المتحمسين للمذهب الاسمي، الذي يؤكد أن الكليات مجرد أسماء لا وجود حقيقيا لها [المترجمان].



2

الفيزياء الكلاسيكية

في زمن ما بدت الأشياء حقيقية وواقعية كما ندركها فعلا، وكانت الفيزياء آنذاك «كلاسيكية» - طبيعية وبسيطة، بل يمكن أيضا القول إنها كانت حديثة العهد ولم تكتسب الثراء الذي يؤهلها لأي من تلك الأوصاف بين ليلة وضحاها. وسوف يكون موضوعنا التالي هو هذا الشباب اليافع للعلم، منذ أصوله وحتى قرب نهايات القرن التاسع عشر. بطبيعة الحال، لن نقتفي أصول مجمل تاريخه، فقط نحدد بضعة معالم هادية، هنا وهناك، تكفي لتبيان منشأ الاتجاه نحو الصورية الذي راح يفرض ذاته شيئا فشيئا، وفي الآن نفسه يرسي دعائمه بثقة واتساق. تمثل الديناميكا الكهربية لماكسويل نهاية عصر البراءة هذا. وفي ما بعده لم يبق شيء على حاله.

«حين يكون العقل شديد الثقة بقواه الخاصة، قد يخدع نفسه ويقع في الخطأ، ويصل إلى الفكرة الصائبة فقط عن طريق ضربة حظ»

المؤلف

الفلك من هيبارخوس إلى كبلر

يتساءل هنري بوانكاريه مندهشا: هل ولد العلم أصلا، إذا كان الإنسان عاجزا عن تأمل موكب النجوم الآمن المنتظم عبر السماوات؟ إنها



سحب أبدية، كتلك التي تغلف سماء كوكب الزهرة، أولم تلق بغياهب الظلمة على العقل، وبالمثل تماما على القلب؟ أما عن مشرق الشمس، فمن الذي يعلم ما يمكن أن يوحي به من توق إلى الصفاء والسطوع؟ لقد احتفظ البابليون والصينيون والهنود والمصريون والإنكا بوثائق حركة السماوات، فعل ذلك أيضا شعوب الشمال، من أهل ستونهنغ Stoneheng (*) إلى المغول، أولئك الذين عبدوا الزرقة الأبدية، وراحوا يرقبون مسار المجموعات النجمية وهي تتهادى عبر السماوات مع إيقاع الفصول.

تظهر أولى البشائر البدائية للرياضيات مرتبطة برصد السماوات. ولعل ما يتجلى من اطراد يسود حركة الأجرام السماوية، هو بمنزلة دعوة لتأكيده وتنضيده والتنبؤ به عن طريق الأعداد. في الحضارة الغربية، فعل هذا البابليون، وأيضا الإغريق، حالما تسلحوا بالرياضيات الحقة. في هذا العهد الباكر، ظهرت عقليات حادة لتكتشف أن الأرض مستديرة، وفق ما تومئ ظلالها على القمر (ومن الموثوق به أن بارمنيدس أول من أدرك هذا)، وفي ما بعد قياس محيطها بدقة بالغة - إراتوستينيز Eratosthenes، ٢٨٤- ١٩٢ ق.م.). وقبل هذا ببضع سنوات كان أرسطارخوس الساموسي قد قاس بالفعل المسافة بين الأرض والشمس وبينها وبين القمر.

لم تكن كل هذه الكشوف مدفوعة حصريا بالرغبة التواقة في المعرفة والفهم. إنها تضرب بجذورها في تصورات للعالم كانت موجودة سلفا. والرغبة في التنبؤ بمسار الكواكب ارتبطت ارتباطا وثيقا بالاعتقاد في تأثيرها على حياة الناس وعلى الإمبراطوريات، وهو اعتقاد موغل في القدم. وفي النزعة العقلية الفيثاغورية، وفي مدارس أخرى، نجد أن عالم السماوات العلوي توشج توشجا لا تنفصم عراه بفكرة الكمال. هذا الترابط سوف يدفع أرسطو إلى استكناه مبادئ صوفية خالصة: مسار الأجرام السماوية لا بد أن يتسم بالكمال، وبالتالي لا يمكن لها أن تسير إلا في المنحنى الوحيد المكتمل، أي الدائرة (وكان تبرير الاكتمال في الدائرة هو أنها المنحنى الوحيد المساوي لنفسه عند كل نقطة). ويعطينا أرسطارخوس مثالا آخر على شق هذا الطريق الوعر، وذلك بهجران التصور التقليدي للعالم. ألم يقترح أننا نستطيع أن نفهم

(*) ستونهنج مدينة أثرية عمرها آلاف الأعوام وهي الآن مزار سياحي شهير، يحوي آثارا متميزة وحمامات رومانية، يقال إنها لاتزال صالحة للاستعمال [المترجمان].



الظواهر السماوية بسهولة أكثر إذا افترضنا أن الأرض لا تعدو أن تكون جرما سماويا يتحرك حول الشمس؟ بيد أن الأرض سوف تحمل معها الأولمب، وهو مستقر الآلهة. ويا له من انتهاك للحرمات. هذا التجديف سوف يكلف أرسطارخوس الكثير. لقد أدين، وبات عليه أن ينكر فكرته، أو على الأقل يحتفظ بها لنفسه.

كان هيبارخوس Hipparchus هو النموذج القياسي للفلكي الإغريقي. عاش في القرن الثاني قبل الميلاد، لكن لا أحد يعرف سني عمره على وجه التحديد، وتلك سخرية قاسية بشأن رجل تملّك ناصية العدد وكان أستاذا من أساتذة العصر. اعتقد، مثل سائر أسلافه، أن النجوم مثبتة في قبة علوية، غطاء دائري للسماء يدور حول الأرض في دورات كل منها أربع وعشرين ساعة. وعلى هذا النحو يرسم كل نجم في مساره دائرة، المنحنى المكتمل. احتفظ هيبارخوس بسجلات تفصيلية لرصوداته التي تتبعت الموضع الدقيق للأجرام السماوية مع مرور الزمن. وأيضا يستفيد من معطيات قديمة، وكنتيجة لهذا يكتشف سبق الاعتدالين الربيعي والخريفي (حدوث الاعتدال في وقت أسبق في كل سنة نجمية (*) متعاقبة)، ويفسر هذا بأنه تمايل متباطئ لمحور الكرة النجمية.

وأيضا لاحظ الفارق بين الحركة الفعلية للكواكب - معتبرا الشمس والقمر كوكبين - وبين المسارات الدائرية التي نتوقع أن الأجرام الكوامل تدور فيها. إذن الكواكب مكتملة فقط بشكل تقريبي، تبعا لما يمليه اقترابها الوثيق من الأرض. ومن ثم تساءل هيبارخوس عن نوع الحركة التي لا تبلغ الكمال لكن تظل ملائمة للأجرام السماوية، بل لعلها هي التي تبث فيها النشاط. ولدهشته، وجد إجابتين محتملتين. الأولى تنطوي على حركة مرتبطة لدائرتين، مثلا «د١» و«د٢» مركز «د٢» يرتحل عبر «د١» بحركة دائرية مطردة، بينما يسير الكوكب في الوقت نفسه في حركة دائرية هي «د٢»، وأيضا بحركة مطردة. المسار الكوكبي الناجم عن هذا أقرب إلى أن يكون منحنى معقدا، هو الفلك الدويري الفوقي epicycloid تأتي كلمة epicycloids من epi وتعني على القمة kuklos وتعني دائرة). أما الحل

(*) السنة النجمية هي الزمان الذي يستغرقه دوران الأرض مرة واحدة حول الشمس مقيسا بالنسبة إلى النجوم الثابتة. وهو ٣٦٥ يوما و٦ ساعات و٩ دقائق و ٩,٥٤ ثانية [المترجمان].



الثاني فهو «دوائر الاختلاف المركزي eccentrics (*) من المفهوم أن القمر، مثلا، لا بد حقا أن يرسم مساره دائرة (بحركة مطردة)، على أن مركز هذه الدائرة مختلف عن مركز الأرض. وسوف يلعب وجود هذين الحلين دورا محوريا في تاريخ الفلسفة (وبالمناسبة، لا واحد منهما صحيح تماما)، ويؤدي إلى بعض من أقدم وأعمق التأملات التي التجأت إليها الفلسفة لفهم طبيعة العالم. وسوف نعود إلى هذا.

ومن بعد هيبارخوس أصبحت الأرصاد أدق وتستمر وقتا أطول، وبهذا أدرك مراقبو السماوات أنه لا الفلك الدويري الفوقي ولا دوائر الاختلاف المركزي يمكن أن تفسر حركة المريخ وحركة المشتري. وبالتالي أصبح من الضروري أن نلتجئ إلى بنيات أعقد، تنطوي على ثلاث دوائر أو أكثر يدور بعضها فوق بعض، وتنشأ عنها مسارات أكثر تعقيدا وتشابكا، هي أفلاك التدوير epicycles (**) وكان بطليموس السكندري هو الذي قام أساسا بالحسابات الضرورية لهذا، وهي حسابات بالغة التعقيد بالنظر إلى الوسائل التي كانت متاحة؛ وكانت دقة هذه الحسابات في التنبؤ بالكسوف، وبالاقتران الفلكي والاستقبال الفلكي دقة لافتة حقا.

ليس غرضنا هو الحديث عن تاريخ علم الفلك، وسوف نتخطى الأرصاد الصينية القيّمة، وبالمثل أعمال الفلكيين العرب والفرس في العصور الوسطى (***)، ونتجه توا إلى كوبرنيقوس Copernicu (١٤٧٣ ١٥٤٣) - قبل وفاته بوقت قصير، نشر عملا يحمل موجزا للحسابات التي أجراها للحركات السماوية عبر سنوات عديدة. قامت هذه الحسابات على اساس فرض أرسطارخوس، الذي كان منسيا آنذاك أو على الأقل يجري تجاهله: الشمس، وليست الأرض، هي مركز العالم، والأرض تدور حول الشمس. ومازالت أفلاك التدوير هي التي تفسر حركة الكواكب، ولكن جرى تبسيطها

(*) يعرّف الدويري الفوقي epicycloid بأنه المحل الهندسي لنقطة ثابتة على محيط دائرة عندما تتدحرج هذه الدائرة على محيط دائرة أخرى ثابتة من الخارج، بحيث تظل الدائرتان في مستوى واحد. أما الدوائر ذات الاختلاف المركزي eccentricity فهي التي لكل منها مركز، وهذه المراكز غير منطبق بعضها على بعض [المترجمان].

(**) فلك التدوير هو دائرة صغيرة يدور محورها على محيط دائرة أكبر منها [المترجمان].

(***) أسهم علماء الحضارة الإسلامية في هذا المجال إسهاما واضحا، يمكن التعرف عليه بالرجوع إلى: دونالد هيل، العلوم والهندسة في الحضارة الإسلامية، ترجمة د. أحمد فؤاد باشا، سلسلة «عالم المعرفة»، ٢٠٠٤ .

وقارن الفصل الخامس من كتاب: ج.ج. كرواثر، قصة العلم، ترجمة د. يمنى الخولي وبدوي عبد الفتاح، المشروع القومي للترجمة، القاهرة، ١٩٩٨ [المترجمان].

إلى حد بعيد. على سبيل المثال، الحركة البادية لكوكب المشترى في النظرية الجديدة والتي نراها من الأرض تنتج عن ارتباط حركتين: حركة الأرض وحركة المشترى وكل منهما تدور حول الشمس. و يستدل كوبرنيقوس من الحركة البادية للشمس على حركة الأرض، ثم يستخدم حركة الأرض من أجل التصويب المنهجي للحركة البادية لكل كوكب. وإذ يفعل هذا، فإنه يبسط نظام أفلاك التدوير تبسيطا عظيما.

ما أكثر ما دُوِّن عن هذه «الثورة الكوبرنيقية»، والتي تمخضت عن جانبين شديدي الاختلاف. الجانب الأول، وهو تجريبي خالص، بارز وظاهر للعيان، إلا أنه بالأحرى تقدم تكنيكي: لقد قل عدد أفلاك التدوير، وبالتالي أصبحت الحسابات أبسط - وعلى أي حال هذه الحسابات عمل فئة محدودة جدا من الناس. أما الجانب الثاني فهو حدث غير مسبوق في التاريخ: على مدى جيل واحد تغير تمثُّل الجنس البشري للعالم.

وبدلا من تكرار أشياء قيلت مئات المرات، سوف نشير إلى جيوردانو برونو G.Bruno (١٥٤٨ - ١٦٠٠) لتبيان ما كان مطروحا. تعطينا حالته، بشخصيته المتطرفة، أفضل مثال. ولأنه دومنيكاني - على الأقل إلى أن أدت نظرته الجريئة إلى طرده من الطائفة الدومنيكانية - فقد كان رجلا متعلما مثقفا، مدفوعا برغبة دافقة للفهم. كانت نظرية كوبرنيقوس بالنسبة إليه وحيا ثانيا منزلا. وينتج عنها أن الأرض مجرد كوكب، وأن الشمس مجرد جسم سماوي آخر مضيء، لا يختلف عن أي نجم آخر. وبالتالي لا يوجد أي سبب معين يجعل هذه الشمس في مركز العالم، هذا المركز في كل مكان: إن الكون لا متناهٍ. ثمة أيضا نجوم لا حصر لها، تفصل بينها مسافات شاسعة، هذا ما يثبته الضوء الخافت الذي يصل إلينا، ولا بد أن ثمة كواكب أخرى حول كل نجم من هذه النجم، مأهولة بلا ريب، تماما كما أن كوكبنا مأهول. في الواقع لم يكن برونو عالما فيزيائيا. إسهامه المتواضع في هذا العلم يقتصر على بضع ملاحظات موائمة حول القوة الطاردة المركزية وانجذاب الأرض بمحاذاة الغلاف الجوي، وعن طريق هذا كان تفسيره لعدم شعورنا بدوران الأرض. وإذا كان برونو يبدو لنا شخصية عظيمة، فذلك من حيث كونه لاهوتيا وفيلسوفا: لقد جرؤ على أن يجعل المنهج التوماوي مناقضا لذاته، وعلى أن يخرج من الأفكار الجديدة بنتائج بالغة الجرأة، وأن يقوض أقدس الإيقانيات المنغلقة القاطعة

ليخرج من النظرة إلى العالم بوحدة الوجود، حيث الخالق والمخلوق وحدة واحدة، هما الكيان نفسه. ونعلم أن رؤيته كلفته حياته ليموت حرقا، ضحية من ضحايا نظرة للعالم لم يرد أحد لها تغيرا.

ولنغفل هذه الجملة الاعتراضية ونتجه قدما إلى تيخو براهه Tycho Braha (١٥٦٤ - ١٦٠١) وهو يمثل النمط النموذجي الأكمل لمراقب السماوات. إنه دنماركي، من طبقة النبلاء، امتلك عددا من أدوات القياس شُيِّدت من أجل مرصده في جزيرة يوارنيبورغ، أسطرلابات ومزاول (*) من أجود الصنوف، على الرغم من أنه لا واحد منها بالطبع كان مزودا بأجهزة بصرية. رصد السماوات لما يربو على عشرين عاما، ليسجل موقع الأجرام والأحداث في جداوله الرودلفية، لتكتمل في راتيسبون. ذلك أنه في راتيسبون استأجر شابا ألمانيا موهوبا في الحسابات ليعمل مساعدا له. إنه يوهانس كبلر J.Kepler (١٥٧١ - ١٦٣٠).

في أعقاب تيخو إمام الملاحظة، يأتي الآن إمام التنظير. وهو يستحق منا أكثر من بضعة أسطر. لقد عرضنا في ما سبق الانعطافات التي أدت إلى الأسس النظرية للفلك الإغريقي: ثمة أولا الواقع المرئي، الأجرام السماوية، والحلم، الاكتمال. والمثل الأعلى هو المطابقة بينهما. يبدو هذا قريب المنال، بيد أن هناك تعارضات، دفعت إلى تعديلات متتالية للفكرة الأصلية، حتى لم يعد شيء منها باقيا في الممارسة الفعلية، بل فقط تقاليد خاوية. في عصر كبلر، كان الحلم المبدئي قد قضى نحبه ويمكن الآن هجرانه. ومع هذا تخلف عنه أثر عيني: الحسابات الطويلة المضجرة التي وُضِعت لترسم حركات الأجرام السماوية. الموقف الراهن متميع - ولعله يرسم جانبا من شخصية كبلر المتقلبة - في موقع ما بين فشل الماضي ووعود المستقبل المراوغة. وأيا كان الوضع، فنحن الآن في سبيلنا إلى فرض نظام رياضي على كتلة المعلومات التي خلفها تيخو، مسترشدين بالأعداد لا سواها، بدلا من الاسترشاد بمفاهيم قبلية ميتافيزيقية.

إن كبلر واحد من أولئك المؤرَّقين بالبحث الدؤوب عن الانسجام، والذين صنعوا عصر النهضة. تفكر مليا في معطيات تيخو المتراكمة كما لو كان يحل أحجية، مجاهدا ومناضلا من أجل إيجاد النظام الخبيء والذي سوف يكشف عنه رويدا رويدا. في البداية يأتي قانون المساحات، في العام ١٦٠٤: الخط

(*) الأسطرلاب والمزولة من أدوات القياس الفلكية في العصور القديمة [المترجمان].



الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية. وبعد هذا بعام واحد صاغ فرضا جديدا حول حركات الكواكب، ولم يكن أول الفروض التي تخضع للاختبار: مدارات الكواكب إهليلجية، تقع الشمس في إحدى بؤرتيها. ثم تطلب اختبار كلٍ من هذين الفرضين كما هائلا من الحسابات العسيرة. ومع هذا، فكما يُعرف جيدا أي شخص لديه خبرة بالحسابات المعقدة، فإن اقتراح إمكانية جديدة غير مستكشفة حتى الآن ليس يتطلب كثيرا - ربما مجرد أرقام متجاورة عرضا. وعلى هذا لا نندهش كثيرا، أو نبحث عن سبب عميق (الأرجح ألا نقترحه إلا بعد أن يتم كل شيء) لواقعة مفادها أن فرضا هندسيا قد يكون بسيطا بدرجة غير متوقعة قد نشأ عن حسابات كبلر، لأن حسابات أخرى سبقته. الجديد حقا هو تشبثه العنيد بالبحث عن نوع ما من النظام بأي ثمن. هذه المرة تلاءمت المعطيات مع الفروض بشكل باهر، وراحت أفلاك التدوير إلى الأبد. وأخيرا، في العام ١٩١٨، اكتشف كبلر نموذجا ثالثا للحركات الكوكبية في نظامنا الشمسي: مكعبات المحاور الكبرى للمدارات (الإهليلجية) تتناسب مع مربعات السنوات الكوكبية (السنة الكوكبية هي المدة التي يستغرقها الكوكب ليقطع دورة كاملة حول الشمس) (*).

وحينئذ سوف تشرع فكرة مستجدة تماما في الاختمار على مهل: أليس من الممكن أن الطبيعة الجامدة ينبغي عليها أن تخضع لنظام تفرضه الرياضيات؟ والواقع أن هذه الفكرة تعود إلى فيثاغورث، بيد أن صورتها الحالية نوع من الارتداد. فهي لم تعد سؤالا عن البداية، بمعية أفكار متصورة قبلا عن الاكتمال، مصوغة في حدود رياضية، ثم تفرض نفسها على الوقائع. العكس تماما هو الصحيح. البداية الآن من الوقائع الغشوم ثم نحاول أن نرى ما إذا كانت قد انبنت وفقا لقواعد ما رياضية. إن مثل هذه القواعد لهي قواعد تجريبية بمعنى ما، لأننا نقبلها من دون أن يكون ضروريا أن نفهم مغزاها العميق. على أن اكتشاف هذه القواعد كثيرا ما يتطلب خيالا خصيبا وجهدا سابغا، كما تبين حالة كبلر ذاته. إن قوانينه الثلاثة نموذج قياسي لفكرة القاعدة التجريبية، جرى الاستشهاد به مرارا وتكرارا.

(*) يستخدم عادة مصطلح الزمن الدوري للكوكب بدلا من السنة الكوكبية، وبهذا ينص قانون كبلر الثالث على أن «مربع الزمن الدوري للكوكب يتناسب مع مكعب بعده المتوسط عن مركز الشمس» [المترجمان].



ونحن الآن على إلفٍ تام برؤية الواقع المادي يتكيف مع القواعد العددية حتى أنه يصعب في معظم الأحوال أن نقدّر واقعة مدهشة حول ما إذا كانت هذه القواعد توجد أصلا. والمدهش أكثر هو النجاح القاطع تقريبا الذي يحالفنا حيثما نشرع في البحث عن إحدى هذه القواعد، بل وربما المزيد والمزيد من الدهشة، لأن كل هذه القواعد تتوافق مع بعضها في انسجام رائع، بدلا من أن تعارض إحداها الأخرى. لقد أدى علم الفلك مع كبلر دوره في توليد العلم الحديث، وذلك بكشفه عن وجود قوانين تجريبية تتخذ الصورة الرياضية.

إشراقة الميكانيكا

تبهرنا أصول الميكانيكا ببساطتها، وهي برهان على أن مفاهيم علم ما يمكن اشتقاقها من خبرات الحياة اليومية الروتينية والعادية جدا. إن ما ينتج عن تمثل هذا العلم للعالم لا يتفق مع حدسنا فقط، بل أيضا يكمله ويتممه. ومثلما تساءل بوانكاريه عما إذا كان الجنس البشري قد اكتشف العلم من دون رؤية السماوات الليلية، نستطيع نحن أن نطرح على أنفسنا السؤال عما إذا كان هذا الاكتشاف ممكنا أصلا من دون ذلك التواصل بين العادي والعلمي، وهو تواصل قد فقدناه منذ زمن (*)، ولا توجد افتتاحية لهذا الفصل من تاريخ العلم أفضل من عبارة آينشتين الشهيرة: «ربما يكون الرب بارعا متقنا، لكنه خيّر».

هذه البساطة المشهودة يمكن أن نجدها في نصوع فكرة القوة. يبدو المفهوم ماثلا منذ أقدم العصور، لأن كل شخص يعرف ما يبذله لرفع وزن، أو لجر عربة أو لكي يثني قوسا. يعطينا الوزن وسيلة لقياس القوة، والفضل في هذا يعود إلى الميزان. ويبدو أن أرشميدس (٢٧٨ - ٢١٢ ق.م.) هو أول من لفت الأنظار لمغزى النقطة التي تُبذل فيها القوة، وهي نقطة جوهرية في نظريته عن الروافع.

وبعد هذا بقرون عديدة، سوف يضع سيمون ستيفن (١٥٤٨ - ١٦٢٠) قوانين توازن القوى التي تمارس فعلها على جسم في حالة سكون - بعبارة أخرى قوانين الاستاتيكا. وعن طريق الاستعانة بحبال وروافع وبكرات، أثبت

(*) ولا ننسى أن الهدف من هذا الكتاب هو استعادته مجددا، فالعادي هو الحس المشترك، وهو الواقعي المعيش [المترجمان].



إثباتا قاطعا أن التوصيف المكتمل للقوة يأتي بواسطة مقدارها واتجاهها ونقطة تأثيرها، لأن هذه العوامل المساعدة هي فقط التي تتدخل في قوانين التوازن. وبيّن أيضا كيف يكون لعدة قوى مترابطة نفس تأثير قوة وحيدة، هي القوة المحصلة. وعمد إلى حسابها مستخدما «طريقة متوازي الأضلاع»، التي نشأ عنها فكرة محدثة هي جمع المتجهات. هكذا نجد جذورا تجريبية لمفاهيم فيزيائية وأيضا نجد بين الفينة والأخرى جذورا تجريبية لمفاهيم رياضية. المثال الوارد بين لنا أن ما يحدث في الفيزياء يحدث في الوقت نفسه في الرياضيات بشكل سري مضمر.

حالما نفهم مبادئ الاستاتيكا، يتبقى أمامنا سؤال الديناميكا، أي سؤال العلاقة بين القوة والسرعة. بطبيعة الحال لاحظ الأقدمون فعلا أن القوة يمكن أن تولد حركة: الحصان الذي يجر عربة يجعلها تتحرك. وأيضا آمنوا، كما آمن أرسطو، بأن العكس أيضا صحيح: سوف تتوقف الحركة ما لم يكن ثمة قوة دافعة لها على طول المدى. ماذا يمكن أن نقوله عن هذا «الدليل» سوى أن المنطق يمكن أن يكون مخادعا؟ فنحن نعلم تتمة هذا: لا بد أن تكون هناك قوة مستمرة تحفظ السهم منطلقا في مساره. يذكرنا الكُتّاب المحدثون بالحل الذي طرحه المدرسيون: ملاك يبذل هذه القوة. قد نضحك من هذا «الحل»، لكن يجمل بنا أن تعلو قهقهاتنا، لأن الصنف نفسه من التفسير سوف يعاود الظهور فيما بعد - ولنتذكر الأثير - ولعله يعاود الظهور في يومنا هذا في شكل خصائص ملغزة بشكل ما للفراغ في نظرية مجال الكوانتم.

يواصل السؤال تطوره البطيء عبر العصور الوسطى، حتى طرحه غاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢)، وقد تراءى له بوضوح أن الحركة يمكن أن توجد من دون القوة. وليست هذه فكرة جديدة تماما، مادمنا نستطيع أن نجدها في كتابات أورزم Oresme (١٣٢٠ - ١٣٨٢)، على أن إسهام غاليليو الحاسم سوف يكون تطبيقه النظامي للمنهج التجريبي. درس حركة الكرة على سطح أفقي. حين تكون الكرة ساكنة، تخبرنا الاستاتيكا أنه لا توجد قوة أفقية تؤثر فيها. يفترض غاليليو أن الأمر نفسه يصدق حتى حين تكون الكرة في حالة حركة، وهذا ما أكدته ملاحظاته: تسير الكرة في خط مستقيم بسرعة ثابتة، ما لم يؤثر الاحتكاك على السرعة. وهذا هو أصل قانون القصور الذاتي•، الذي سوف يؤدي دورا محوريا في تاريخ الفيزياء: الجسم الذي لا تؤثر فيه قوى

يسير في خط مستقيم بسرعة ثابتة. في الواقع، استغرقت الصياغة الدقيقة لهذا القانون بعضا من الوقت لكي تتبلور، والذي طرحها فعلا ليس غاليليو بل هو ديكارت. اعتقد غاليليو أن الحركة دائرية، مناظرة لدوران الأرض، وليست في خط مستقيم - لكن لا تأبه بهذا.

نعلم أن غاليليو درس أيضا سقوط الأجسام، مرة أخرى باستخدام المنهج التجريبي. جعل الكرات تتدحرج في مجرى مائل لكي يقلل من تأثير الوزن، وبالتالي تغدو الحركة الأبطأ الناجمة أسهل في قياسها. النتائج التي خرج بها طبقت شهرتها الخافقين، ونحن نلفت الأنظار فقط إلى بساطتها، التي أكدت معتقده الشهير: «كتاب الطبيعة مكتوب بلغة الرياضيات».

أضاف هيغنز Huygens ووالیس Wallis (نحو العام ١٦٧٠) على هذه القوانين المبدئية للديناميكا، القوانين المتعلقة بالتصادم، حيث يؤدي مفهوم الكتلة دورا أساسيا، وقد اكتسب في ذلك الحين تميزا واضحا عن مفهوم الوزن. ودخل الصورة مقداران جديدان: كمية التحرك momentum والطاقة الحركية. كل هذه القوانين هي أساسا محض قواعد تجريبية، أبسط من القواعد التي صاغها كبلر.

ويجب ألا ننسى أداة أخرى إضافية، جوهرية للديناميكا: الهندسة التحليلية التي ابتدعها ديكارت العام ١٦٣٧، وهي في أساسها تقوم على ردّ الهندسة إلى حسابات جبرية لإحداثيات نقطة، أي على الأعداد الثلاثة التي تحدد موضع النقطة بالنظر إلى ثلاثة محاور، هي النظام المرجعي. كانت الهندسة الأقليدية موائمة تماما لدراسة منحنيات خاصة معينة، القطوع المخروطية وأخرى سواها، من قبيل المنحنى الدويري cycloid (*) الشهير، الذي أبهج علماء الرياضيات في ذلك العصر كثيرا. بيد أن هذه الهندسة كانت إلى حد ما غير عملية، وكثيرا ما تكون عقيمة بلا فائدة في وصف، أو حتى تخيل، مسارات المقذوفات الأكثر تعقيدا. وبرد مثل هذه التوصيفات إلى حسابات، يكون ديكارت قد أعطانا أداة جديدة دقيقة. الآن يمكن اعتبار كل إحداثي بمنزلة دالة لزمن سوف تحدد النظرية صورته الدقيقة.

(*) الدويري (السيكلويد) هو المحل الهندسي المستوي لنقطة ثابتة على محيط دائرة تتدحرج على خط مستقيم. والمنحنى الدويري ثابت عند كل نقطة يقابل فيها خط الدحرجة. وقد أثبت هيغنز أنه إذا انزلق جسم أملس من دون احتكاك على سلك، على هيئة سيكلويد مقلوب فإن زمن وصوله إلى قاع السيكلويد يكون ثابتا مهما كانت النقطة التي يبدأ منها الجسم الانزلاق، وتعرف هذه الخاصية أيضا باسم البندول الدويري [المترجمان].



تشهد كواليس التاريخ على مقت نيوتن لكل شيء آتٍ من ديكارت. وبالتالي كان عدم استخدام المنهج الديكارتي إطلاقا هو بالنسبة لنيوتن مسألة شرف وكرامة. واستطاع فعلا أن يمسك بزمام الأمور من دونه، لأن أهم المشكلات التي كان ينبغي عليه أن يواجهها لم تتضمن إلا مسارات المقذوفات التي كانت قطوعا مخروطية. وبالتالي لم يعد من الضروري أي ذكر لديكارت في كتاب نيوتن العظيم. ولكن سرعان ما تناسى خلفاؤه هذا التحريم، وظل نيوتن بدوره حريصا على ألا يعلنه بوضوح ألبتة. ويمكن أيضا أن ننظر إلى الأمور من زاوية مختلفة، أكثر إرهاصا بالمستقبل: يؤدي المكان في الديناميكا دور الحاوي الفيزيائي، ومن ثم قد تكون إمكانية وصفه وصفا مجردا باستعمال الجبر، هو أول الشواهد الدالة على أن العلم الصوري أهلٌ وأقبل، وإن يكن هذا بشكل غير قاطع. ولكن كيف يمكن لأحد ألبتة أن يراه أصلا؟

ديناميكا نيوتن

لا يماري أحد في أن أعمال نيوتن (١٦٤٢-١٧٢٧) في الديناميكا تظل ذروة من ذرا العلم، لا يفوقها فائق، حتى وإن بدت بعض الإنجازات الأخرى ندا لها. وقد نشرها العام ١٦٨٧، في كتابه «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» "Philosophia Naturalis Principia Mathematica"، وقال إنه كتب معظمه إبان سنوات شبابه.

ومن بين الجوانب المتعددة لعبقريته، سوف نتوقف بإزاء الانقلابة المستجدة تماما التي أسبغها على «قوانين» الفيزياء. قبل نيوتن، بدت قوانين الفيزياء مجرد قواعد تجريبية، استُخرجت عبر تحليل حذر لكتلة الوقائع. بيد أن نيوتن قدم لنا «المبادئ»، أي القوانين العمومية التي تطيعها الطبيعة، وينتج عنها القوانين التجريبية السابقة كمحصلات منطقية ورياضية لها. يملي علينا هذا افتراضا معينا، وهو أننا لا بد بالضرورة أن نحرر أنفسنا من إسار وضعنا الدنيوي والحدود التي يفرضها علينا. ومن الصعب الآن أن نعرف قيمة الجسارة المتضمنة في أن توضع ظواهر تبدو متفاوتة متباينة، مثل الأجسام الساقطة وذبذبات الأوتار والحركات الكوكبية والتصادم، تحت مقولة واحدة لتخضع جميعها للقوانين ذاتها.

إلا أنه لا مندوحة عن الاعتراف بأن هذا البحث عن مبادئ عمومية لم يبدأ مع نيوتن، لأن ديكارت جاء من قبله وانشغل بهذا. والفارق بينهما يتمثل

في أن الفيلسوف الفرنسي لم يواته الحظ ولا الفرصة ولا العبقرية لكي يكتشف المبادئ الحقيقية للديناميكا، والمبادئ التي طرحها غير مكتملة، إن لم تكن خاطئة. وأيضا لعله بالغ في تقدير قوة منهجه، ليعتمد على العقل أكثر من اعتماده على التجربة. لقد أطلق هوسرل وهيدغر على الفيزياء التجريبية اسم «المشروع الديكارتي»• Cartesian Progect بسبب من أسبقية ديكارت، ولأنه يجب الاعتراف به كفيلسوف عظيم (بينما تتوارىً هذه السمة في حالة نيوتن). وسوف نتبنى هذا التعبير ونحن نقتفي خطى نيوتن، بديهي من دون أن نشاركه في مقته للمشروع ذاته.

أصبح هذا المشروع في عصرنا عقيدة سائدة بين العلماء، وهو يقوم على دعوى مفادها أن الطبيعة تطيع بعض المبادئ العمومية التي يمكن التعبير عنها بالوسائل المنطقية والرياضية. وإذا ألقينا نظرة باردة على هذه الفكرة، لا مندوحة لنا عن الاعتراف بأن فيها عنصرا من عناصر الجنون: كيف يمكن أن يسلم المرء بأن الكثرة المتكثرة من الأشياء والظواهر في الطبيعة، بحشود الاختلافات بينها، خامة الشعر والمخيلة، يمكن أن تخضع جميعها لنظام صارم تفرضه قبضة حديدية؟ لا شك في أن هذا يعود إلى الثقل المتراكم لاكتشافات عديدة، ولما تحقق عبر التاريخ من تطور للعقول، وتأثير التشرب بمعتقدات نسقية، حتى أن هذه الفكرة باتت شيئا فشيئا عرفا راسخا، يعتنقه نفر اعتناقا راسخا، فلا يعود أي بحث فيه ذا ضرورة، ويجعلونه مربط الإيمان، إيمان أعمق من أن نعلنه.

ومنذ البداية، يتجلى هذا المنظور الطموح في تعريف نيوتن لإطار الديناميكا: المكان والزمان مطلقين. لم يعد المكان، بالنسبة إلى نيوتن، بنية من الأفقي والرأسي، ذات ملامح أرضية خالصة، بل هو مطلق: «المكان المطلق، بصميم طبيعته، دون أن تكون له علاقة بأي شيء خارجي، يظل على الدوام كما هو، متشابها غير متحرك ألبتة. أما المكان النسبي فهو بُعد يمكن أن يتغير أو هو مقياس للمكان المطلق؛ تحدده حواسنا عن طريق وضع الأجسام فيه، وعادة ما نأخذه على أنه مكان غير متحرك». وبالمثل ثمة زمان «في ذاته وبصميم طبيعته مطلق، حقيقي ورياضي»، إنه «يتدفق تدفقا ثابتا من دون علاقة بأي شيء خارجي... أما الزمان النسبي الظاهر والمألوف فهو قياس للمدة (سواء أكان دقيقا أو غير ثابت) عن طريق الحركة، وعادة ما نستخدمه بدلا من الزمان الحقيقي».



قليلة هي التعبيرات التي قيلت في الفيزياء، وجرى اقتباسها والتعليق عليها، بقدر ما جرى اقتباس هذه الفقرة والتعليق عليها، وهي تحمل مبررات هذا. كل شيء هنالك: إنه زعم بالمطلقية، يكاد يكون ميتافيزيقيا، يوشك أن يكون واحدا من أحكام العقل القبلية عند كانط. على أن نيوتن أقل ميلا للمقولات القاطعة، فقد عين إجراء تجريبيا لكي نعين - من حيث المبدأ - هذا المكان المطلق، وأيضا ألمح إلى إمكان التفكير بطريقة مختلفة. وعلاوة على ذلك - وما يبرهن على قدراته الباهرة - أن تلك الإشارة باتت حلا مسبقا لكل الصعوبات الناجمة عن معلولات القصور الذاتي (القوة الطاردة المركزية وسواها)، وذلك بأن تجعل من الممكن اشتقاقها من المبادئ، بدلا من أن نقوم بتحليل تلك المعلولات ذاتها. وعلى الرغم من كل هذا، لا تكفي هذه البساطة الخصيبة لكي تضمن لنا حقيقة قاطعة وراسخة، فكما أعلن آينشتين فيما بعد «الرب بارع».

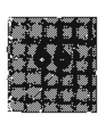
المبادئ التي طرحها نيوتن معروفة جيدا. وهي في جملتها ثلاثة. الأول لا يعدو أن يكون مبدأ غاليليو في القصور الذاتي، وقد اتخذ صورة ديكارتية وأعيدت صياغته في قالب الزمان والمكان المطلقين: الجسم الذي لا تؤثر فيه أي قوة يتحرك (عبر المكان المطلق) في خط مستقيم بسرعة ثابتة. ثم يأتي مبدأ تكافؤ الفعل ورد الفعل، وهو معروف في الاستاتيكا. أما المبدأ الثالث فرفيق قديم للطلبة الدارسين: حاصل ضرب كتلة الجسم في عجلته (في المكان المطلق) يساوي مجمل القوة المؤثرة عليه. إن فكرة العجلة، التي تؤدي دورا محوريا هاهنا، تقوم على أساس كشف عبقري آخر من كشوف نيوتن، وهو حساب التفاضل. إذا عرفت القوة المؤثرة على جسم، أمكن ترجمة المبدأ الثالث في حدود المعادلات التفاضلية، وتعطي حلول هذه المعادلات وضع إحداثيات الجسم كدالة للزمان. قدم نيوتن معنى هذه المعادلات، مثلما قدم منهج الحل: حساب التكامل، وهو إبداع آخر من إبداعاته.

وأولى مهام نيوتن هي أن يرسي دعائم وجاهة وصواب هذه النظرية. وسوف يفعل هذا عن طريق منهج يتراءى لنا مرارا وتكرارا في تطور الفيزياء: بعض المبادئ المعروفة فعلا في صورة قواعد تجريبية، يعاد اكتشافها بوصفها محصلات منطقية أو رياضية لمبادئ طرحت حديثا. النتائج محل البحث تتضمن حركة البندول والأجسام الساقطة وخصائص التصادم.

على أن أعظم انتصاراته، كما نعلم جميعا، نظرية الجاذبية، وهي على أي حال لا تختلف اختلافا جوهريا عن النتائج المذكورة آنفا. كان التساؤل الملح هو استخلاص قوانين كبلر التجريبية من المبادئ العامة. الصعوبة الحقيقية الوحيدة هي تحديد الصورة الدقيقة لقوى الجاذبية بين جسمين - مثلا الشمس وأحد الكواكب. على أن هذا يمكن إحرازه باستخدام قانونين من قوانين كبلر. إن قانون المساحات هو حقا العلامة الكونية الدامغة على القوة المركزية، والتي هي - في هذه الحالة - قوة متجهة على طول الخط الواصل بين الكوكب والشمس. إن القانون التجريبي الذي يربط المحور الأساسي لمدار الكوكب بزمنه الدوري period (أو السنة الكوكبية) يتبعه أن القوة المذكورة يجب أن تتناسب تناسبا عكسيا مع مربع المسافة. والآن نحن نعلم كل ما نحتاج إليه لحل معادلات الحركة الناتجة عن مبدأ الديناميكا الأساسي. وسوف يؤكد حل هذه المعادلات أن المدارات الكوكبية هي كما نعلم إهليلجية، تقع الشمس في إحدى بؤرتيها.

وفي معرض هذا، علينا أن نلاحظ أن مؤرخ العلم سوف يعترض قطعا على الطريقة التي استخلصنا بها العلاقة بين مبادئ نيوتن وقواعد كبلر. سيجادل بأن اكتشاف قانون التربيع العكسي الشهير كان متوشجا في الأمر أكثر من هذا بكثير، ومفعما بأشكال من الحدس ومن التردد، ودع عنك المناظرات والمجادلات التي دارت، وإن هوك Hooke قد أرهص بالقانون المذكور، إن لم يكن قد اكتشفه. وأيضا سوف يشير المؤرخ إلى أن الحجج التي قدمناها هي في واقع الأمر حديثة تماما. وسوف يضيف نفر من فلاسفة العلم أن ما ذكرناه إنما هو تأكيد لشيء من عدم الأمانة مفطور في العلماء، الذين يلوون عنق التاريخ ليشيعوا اعتقادا بأن ثمة منهجا، بينما الأمر، كما يزعم فييرآبند Feyerabend (*) لا يعدو أن يكون مصادفة، شواشا وتخمينا. مثل هذه الوساوس مشروعة تماما، وللقارئ علينا حق التفسير. أولا، نذكر القارئ أو القارئة أن علاقة هذا الكتاب بالتاريخ علاقة عرضية، وأن الروح التي تكسبه طابعه الفريد هي أن نفهم - ويمكن القول إننا نطمح إلى فهم لا يتقيد بزمان، إن جاز هذا التعبير. ومن ثم نملك ما يبرر

(*) بول فييرآبند Feyerabend (١٩٢٣ - ١٩٩٤) فيلسوف علم أمريكي من أصل نمساوي، أثارت فلسفته جدلا صاخبا. أهم أعماله والتي يشير إليها المؤلف هي كتابه «ضد المنهج» ١٩٧٥، حيث يؤكد أن السؤال عن المنهج سؤال زائف أصلا، لأن العلم لم يكن أبدا أسير منهج واحد محدد، بل هو مشروع فوضوي. بمعنى أنه لا يعترف بأي سلطة، وكل المناهج يمكن أن تجدي فيه [المترجمان].



شعورنا بأن تلك الأفكار الأخيرة تمنحنا أفضلية وتميزا. إن كانت هي الأوضح والأكثر ملاءمة. أما عن سؤال المنهج العلمي، فينبغي التريث، لأنه سؤال أكثر عمقا ودهاء من الصورة الشائعة له. لا سيما إذا ما كان يرغب في إنكار وجود منهج علمي أصلا.

وإذ ننتهي من هذا الفاصل الاعتراضي ونقفل عائدين إلى نظرية الجاذبية، فعلينا أن نتفحص صعوبة كانت مصدرا لمناقشات جمة. ثمة افتراض أن قوة الجاذبية تمارس فعلها مباشرة بين الشمس والكوكب، على الرغم من الفراغ الفاصل بينهما. ولكن كيف يمكن للفراغ، للخواء الكامل، أن يحمل هذه القوة، أو هذه البيانات كما نقول بلغة عصرنا؟ إن الفعل «عبر مسافة» يحمل صعوبة كامنة في المفهوم تتحدى الحس المشترك: فليس مباحا أن نساوي بين لا شيئية الفراغ وبين وجود القوة، وإلا عد هذا لغوا فلسفيا. يعرف نيوتن هذا حق المعرفة، وبمنتهى الانفتاح اعترف في الحاشية العامة للطبعة الثالثة من كتابه «المبادئ الرياضية» بحيرته الشديدة. على أن آينشتين سوف يضعنا بإزاء ملمح آخر من ملامح هذه القوة مثير للحيرة والتساؤل: واقعة مفادها أن القوة تحدث في اللحظة عينها التي تعتمد فيها تلك القوة فقط على المسافة الكائنة بين الشمس والكوكب. ويبدو هذا منطويا على أن الشمس بمعنى ما لديها إدراك (أو بيانات) في اللحظة عينها، إدراك لحظي، بموضع الكوكب.

إنه الفعل اللحظي من بعد، هو الخطيئة الأولى - إن جاز التعبير - في نظرية الجاذبية لنيوتن. وسرعان ما تناساها جمهرة العاملين في رحاب العلم. وكأمر واقع، فإنهم من دون أن يدركوها فعلا، كانوا يتحولون بلا وعي من العلم الحدسي، حيث يكون كل شيء مرئيا ومتفقا مع الحس المشترك، ليتجهوا صوب علم ينطوي على عناصر صورية هي في صلبها غامضة غير مفهومة.

وسوف يغدو هذا التحول أكثر حدة مع انتهاء القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، وذلك بفضل أعمال لابلاس ولاغرانج في الرياضة البحتة. وسرعان ما سوف يلحق بهما هاملتون. قام لاغرانج وهاملتون على وجه الخصوص بتحويل مبادئ نيوتن إلى صورة رياضية مختلفة تماما عن الصياغة الأصلية لها. ها هنا أصبحت فكرة الفعل محورية. وعلى خلاف المفاهيم التي استعملها نيوتن، باتت فكرة الفعل رياضية بحتة، من دون أي محتوى حدسي أو مرئي أو مماثل لشيء في



الواقع. إن الفعل تكامل عبر الزمان متضمنا التفاضل بين طاقة الحركة وجهد الطاقة. ونستطيع قطعا أن ندرك مغزى حاصل جمعهما - إنه الطاقة الكلية - ولكن ماذا عن التفاضل بينهما؟ وعلاوة على ذلك، الفعل في حد ذاته لا يعني شيئا، إنه مجرد وسيط: الحركة الفعلية لها خاصية تكاد تكون سحرية، وهي خاصية تقليل الفعل إلى حده الأدنى (مبدأ الحد الأدنى من الفعل). لماذا يكون الحد الأدنى، أو حتى الحد الأقصى؟ نستطيع فقط أن نتعجب، دون أن نتوقع تفهما، دون «أن نرى» أي شيء، لأننا لا نعرف ذلك ولا نعرف من أين أتى.

بفضل مناهج لاغرانج وهاملتون، بات من الممكن أن نتجه فورا إلى سويداء الحسابات في الديناميكا، بل وأن نجريها في كثير من الأحيان بكفاءة أعلى. بيد أن هذه الكفاءة الرياضية البحتة غير ذات صلة بماهية الفيزياء. إن الحسابات الأكثر كفاءة لا تفضي إلى مفهوم أغزر في محتواه، ومن ثم لا يستطيع أحد الزعم بأن الظفر بهذه المناهج الجديدة يمكن أن يفيد في سؤالنا عن أسس العلم. إنه سؤال مازال ملحا... وسيزال...

الموجات في الأثير

قطعا، نحن لا ننوي أن نخوض في تفاصيل تاريخ العلم؛ ومع هذا لا بد أن نقول شيئا يتعلق بالبصريات. وثمة أسباب عديدة لذلك. أولا وقبل كل شيء البصريات - خلافا للديناميكا التي تتناول حركة أشياء عينية، كيانات لا تنطوي على أسرار - إنما تطرح سؤالا مهيبا: ما هو الضوء؟ ومن هذه الناحية، تتطلب البصريات مستوى من الفهم أعمق وأصعب مراسا من المستوى المطلوب في الديناميكا. وأيضا يظل هذا الفرع من أفرع الفيزياء، خصوصا من حيث اتحاده أخيرا بالكهرومغناطيسية، واحدا من أبرز الأمثلة على التساوق والترابط في العلم؛ وسيظل هذا أحد الخيوط الهادية لنا. وذلك ما ينبغي أن نتفحصه، ولو بإيجاز.

لقد ورثنا عن الأقدمين فرضا جذابا، أتانا من مدرسة لوقيبوس وديمقريطس الذرية، وتبعا له الضوء مكون من نوع خاص من الذرات. يقذفها الجسم المضيء، وتلتقطه أعيننا بعد أن يرتد عن الجسم المستضاء. وهذا الفرض، المطروح في قصيدة لوكريتوس «في طبائع الأشياء»، يعد أيضا مثالا جيدا على التفسير كما تصوره وأراده الأقدمون: تصورا مرضيا يصطنعه الشخص لنفسه، ويمكن نقله للآخرين شفهيا.

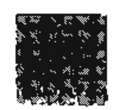


أما البداية الحقيقية للبصريات العلمية، أي البحث عن قواعد إمبيريقة من خلال التجريب، فقد كانت مع كتاب ديكارت «Dioptrique» المنشور عام ١٦٣٧. بعض من تلك القواعد أتت من الماضي البعيد. على سبيل المثال، عرف أرشميدس الانتشار الخطي للضوء أو قوانين الانعكاس على المرآة. وثمة قوانين أخرى حديثة تماما، من قبيل القوانين المتعلقة بالانكسار (وكان سنل Snell قد اكتشفها قبلا) (*)، إنها قوانين تحكم تغير اتجاه شعاع الضوء بعبوره سطحا فاصلا بين وسيطين شفافين (الماء أو الهواء مثلا). وأيضا استخلص ديكارت عددا من المحصلات. لقد خلب جنان معاصريه بنظريته عن أقواس القزح، التي فسرها في حدود الانعكاس والانكسار في قطيرات الماء.

إنه تفسير نافذ، يمثل حالة من الحالات التي يقوم فيها العلم بفك خيوط سر واحد من أعقد ألغاز الطبيعة وأكثرها مراوغة. ليست أقواس القزح مادة مألوفة للاستبصار الفلسفي العميق، ولا هي سر ملغز يجتذب العقل التأملي. وهي من الناحية الأخرى مسرة للشاعر، الذي يجد فيها العديد من التأويلات. حين يكشف العلم عن الطبيعة الحقة لمثل هذه الظاهرة العاطفية الشاعرية، فإنه يضع نفسه في مرمى هجوم البعض بوصفه عدوا للشعر وللأحلام. وعلى العكس من هذا، يتعلم البعض أن يبصروا بشكل أفضل، أن يجعلوا النظرية تتنبأ بأقواس القزح الثانوية الباهتة، ويشعروا بالمعجزة من وجودها. ولن نهجر الشعر؛ فقط ننتظر منه أبعادا جديدة، أبعاد النظام الذي يعمر أرجاء الكون. والعلم، على أي حال، سوف يغير كذلك تصورنا للعالم بأمثال تلك الكشوف التي يحرزها.

إن الذين يرغبون في الفهم ليسوا أقل خيالا من أولئك الحالمين. ويعطينا ميلاد نظرية الضوء مثالا توضيحيا بارعا على هذه الحقيقة. إنها حلقة من مسلسل العلم تكشف عن الكثير، لأنها تعرض جانبا من جوانب العلم حاسما وفاصلا، إذا ما كنا نرغب في استكناه حقيقة منهجه: حين يكون العقل شديد الثقة بقواه الخاصة، قد يخدع نفسه ويقع في الخطأ، ويصل إلى الفكرة الصائبة فقط عن طريق ضربة حظ.

(*) تحدث الحسن بن الهيثم في القرن العاشر الميلادي في كتابه «المناظر» عن طبيعة الإبصار، وخصائص انتشار الضوء وانعكاسه وانعطافه وصفات الصور المتكونة الحقيقية والتقديرية [المترجمان].



كان المنهج على وجه الدقة هو شغل ديكارت الأساسي. وانتصر لمنهج يرتكز أساسا على العقل، أكثر من أن يرتكز على الخبرة والتجربة. إنه يقوم على تحليل كل مشكلة إلى مشكلات أصغر وأبسط، حتى يتبدى الحل في النهاية واضحا جليا. ويظل مرماه الأساسي هو التركيب الكامل المكتمل، وعن طريقه سوف يكون العقل قادرا على إدراك كل شيء بطريقة تتسم بالوضوح والتميز.. وقد جعلت هذه المقاربة من ديكارت ممثلا نموذجيا للواقعية realism؛ وهي الإيمان بإمكان الوصول إلى معرفة كاملة بالواقع. والعنصر الأساسي في رؤيته للفيزياء هو تعريف المادة بالامتداد، ويمكن أن نقول تعريفها بالمكان. المكان أيضا مادة، بل إن صميم أجزائه المؤتلفة يمكن أن تكون لهذا في حركة. وبالنسبة إلى الضوء، رفض ديكارت الفرض الجسيمي - لأنه لا يتواءم مع تفسير تغيرات الاتجاه التي تحدث حين الانكسار - وفضل أن يأخذ بتمويج المادة (أو الامتداد) المماثل لأمواج الصوت، التي كانت خواصها آنذاك مفهومة.

وعبر الجيل التالي سوف يكتسب الفرض الموجي أرضية أوسع وأوسع، وذلك بفضل روبرت هوك وكريستيان هيغنز. مازالوا يفترضون أن الضوء ينتشر عبر وسيط شفاف، مثلما تنتشر موجات الصوت عبر الهواء. كل نقطة منفردة في الوسيط تهتز، وتتشكل الموجة من كل هذه الاهتزازات معا، في انتشارها من نقطة إلى نقطة. أنجز هيغنز تفاصيل هذه النظرية وقام بترجمتها إلى لغة رياضية دقيقة. واستدل من هذا على أن موجات الضوء لا بد أن تنتقل في خطوط مستقيمة، وأيضا نجح في تنضيد قوانين الانكسار. وأيضا تأكدت الفكرة الموجية بفعل ظواهر الحيود، التي لاحظها ليوناردو دافينشي قبل هذا بأمد طويل، ودرسها فيما بعد غريمالدي Grimaldi. أحد مظاهرها شحوب حدة الظل، حافته التي تغيم إلى حد ما حين نفحصها عن كثب، أو الطريقة التي ينتشر بها الضوء بفعل جسيمات متناهية الصغر أو بفعل شبكة العنكبوت. كل هذا يوعز بأن أطوال موجات الضوء ليست بعيدة المنال، حتى لو كانت قصيرة جدا.

ومع هذا يحمل الفرض الموجي في صلب ذاته ومنذ مولده خللا خطيرا، سوف يشتد إلحاحه بعد أن يتم هجران أفكار ديكارت المبدئية بوقت طويل: إذا كان ثمة اهتزازات، فما هو الشيء الذي يهتز؟ (*) ليس ثمة مشكلة حين

(*) يمكن أن نطرح هذا السؤال بطريقة أخرى أوضح، فنقول: إذا كان الضوء موجات، فما هو فاعل الفعل يتموج؟ [المترجمان].



ينتشر الضوء في وسيطٍ ما مادي، فيمكن أن تقوم الذرات بهذا الدور. لكن ماذا يحدث في الفراغ؟ وسوف تمثل إجابة هيغنز - وهي فرض الأثير - معلما من معالم تاريخ الفيزياء لسنوات كثيرة قادمة. كان الأثير عند هيغنز غير مادي، وسيط نافذ في كل شيء يتخلل المادة وحاضر في كل مكان، حتى حينما يبدو أنه لا يوجد أي شيء إلا الخواء. وهو على الرغم من هذا وسيط ميكانيكي، لأنه يهتز حين تعبره موجات الضوء.

إذا اتفقنا على تعريف العلم الكلاسيكي بأنه وصف للواقع باستخدام مفاهيم يسهل على العقل تأويلها، فإن طرح هيغنز لفرض الأثير، قبيل أن يلتجئ نيوتن إلى الفعل عن مبعدة، إنما يشير إلى هوة أو صدع في هذا التصور للعلم. لكن دعنا لا نستبق الأمور.

كان لزاما على النظرية الموجية للضوء أن تباري الفرض الجسيمي، وهذا الأخير قد حبذه نيوتن. لن نعنى بتفاصيل هذه المناظرة الكبرى، التي سوف يحسمها اكتشاف التداخل interference ويبقي على هذا الحسم لأمد طويل. كان توماس يونغ هو أول من اكتشف ظواهر التداخل، في العام ١٨٠١، ولكي يجري تجربته الكلاسيكية التي تقوم على شقين طوليين: سلّط الضوء على أحد جانبي صفيحة بها شقان طوليان متوازيان ولاحظ تغير هُدب النور والعتمة على شاشة موضوعة على الجانب الآخر. وأدخل أوغست فرزنل A Fresnel تحسينات على هذه الإجراءات، وذلك باستخدام مرآتين مائلتين قليلا بدلا من شقين طوليين. فتح هذا الباب لملاحظات أفضل ودراسة تجريبية أكثر منهجية. تنتج ظواهر التداخل أيضا عن موجات على سطح الماء. من الطبيعي إذن تأويل حصيلة هذه التجارب على أنها تأييد للفرض الموجي، وهذا، على وجه الدقة، هو ما فعله يونغ وفرزنل. وفي الآن نفسه، يقوم فرزنل بتطوير نظرية هيغنز، مما أتاح له التفسير الكمي لهُدب التداخل، وتطبيق النظرية على ظاهرة الحيود.

عند هذه النقطة وقعت حادثة جرى تقريرها من قبل ألف مرة، ولكننا لا نستطيع أن نتفادى ذكرها مجددا. إنها تعطينا فرصة لكي نعرض مثالا لما يمكن أن نسميه التجربة الفاصلة. فقد قامت أكاديمية باريس للعلوم في العام ١٨١٩ بتفويض هيئة محكمين لتقويم أعمال تتناول ظواهر الحيود. كان أعضاء هذه اللجنة هم بيو وأراغو و لابلاس وغي- لوساك وبواسون. وفي معرض هذا طرح فرزنل بين يدي اللجنة شروحا مفصلة لأفكاره محل البحث،

متمما إياها بحسابات إضافية. لا يملك المرء إلا الإعجاب بتعليق هيئة المحكمين الذي سوف يغدو تمحيصا شاملا للمشكلة. إن بواسون رياضي مقدام، اعتاد أن يقول بملء فمه ليس هناك إلا شيئان يجعلان الحياة جديرة بأن تُعاش، وهما ممارسة الرياضيات وتدريسها، وقد اضطلع بتحليل تفصيلي شامل لأعمال فرزنل. يستخدم بواسون أدوات رياضية بالغة التعقيد، ربما كانت شديدة التقدم بالنسبة إلى فرزنل، وحسَبَ شدة الضوء في العمق داخل ظلال شاشة دائرية. تستعصي نتيجة حساباته على الفهم: في صميم مركز الظل لا بد أن تظهر مساحة مضيئة من الشدة مساوية لشدة الضوء بكامله. تبدو هذه المحصلة نقضا. وحينما قرر بواسون أن يشرك أرغو في معضلته، كان على شفا رفض عمل فرزنل بأسره. أشار أرغو إلى أنه ما أسهل أن يسير الأمر وكأن أحدا لن يلاحظ المساحة المضيئة محل التساؤل، فهي صغيرة للغاية. ثم أجرى تجاربه فقط ليتحقق من هذا، ولدهشته الشديدة كانت تلك النقطة المضيئة التي لا يصدقها أحد موجودة بالفعل!

عادة ما تكون هذه النوعية من الأحداث أكثر إقناعا من مجمل مجموعة من الأدلة والبراهين المتأنية. وبعد إعلان بواسون وأرغو عن كشفهما، بات الفرض الموجي قدرا محتوما، ولن يتشكك أحد بعد اليوم في أن الضوء اهتزاز. ودعنا نختتم هذه الحكاية هاهنا، في هذه اللحظة السعيدة التي لم تتبقَ في سمائها إلا سحابة واحدة - إنها الأثير المزعج المقلاق.

بداية الكهرومغناطيسية

ساد الاعتقاد ردحا طويلا من الزمن بأن العلم يمكن أن يتقدم عن طريق ما يسمى بالمنهج الاستقرائي (*) والفكرة الأساسية هي أن الفحص الواعي للوقائع سوف يتيح تحديد المفاهيم الملائمة، بل أيضاً اقتراح القواعد أو القوانين التي تخضع لها تلك الوقائع. ويعطينا تاريخ أصول الكهربية والمغناطيسية مثالا جيدا

(*) مشكلة الاستقراء، كما يجري عادة تعريفها في الأدبيات الفلسفية، تقوم على التقدير الصحيح لمعقولية قاعدة علمية أو مبدأ علمي ما، ونحن نعرف أننا نستطيع أن ننتقل من عدد محدود من الأمثلة إلى انطباق تلك القاعدة أو المبدأ. المنهج الاستقرائي الذي نناقشه هنا ذو مجال أضيق كثيرا [المؤلف].
ولما كان القانون العلمي مبدءا كليا عموميا ينطبق على كل الحالات المماثلة في كل زمان ومكان، والمنهج الاستقرائي يبدأ بملاحظة عدد محدود من الحالات، فإنه يمكن صياغة مشكلة الاستقراء بصورة أوضح وأبسط، فنقول: كيف ننتقل من عدد محدود إلى تلك الصيغة الكلية، بأي حق نحكم مما رأيناه على ما لم نره؟ [المترجمان].



لهذا المفهوم الاستقرائي. وفي الوقت نفسه، إذا ما تغاضينا عن بعض المحاولات الفجة لتقديم أساس نظري، فإن هذا المثال يرينا كيف أن المقاربة التجريبية الخالصة يمكن أن تتواصل وتستمر عبر أجيال عديدة.

لم يعرف القدماء كثيرا حول هذا الموضوع، يكاد يقتصر ما عرفوه على أن حك عصا الكهرمان «الإلكترون elektron» (*) يؤدي إلى بعض الظواهر العجيبة، وتلك الخصائص الغامضة لأكسيد حديد من قبيل المغنتيت [أكسيد الحديد الأسود]، الذي استغله الصينيون في صنع البوصلة. «إن الرب بارع»، لأننا نعرف الآن أن هذه الظواهر المتواضعة تكمن في طياتها أهم القوى الرابضة في قلب المادة.

وعلينا أن ننتظر حتى العام ١٧٢٩ لكي نكتشف، بفضل غراي Gray (**)، أن الجسم المشحون كهربيا يمكن أن يكهرب جسما آخر، وأن هناك مواد موصلة ومواد عازلة. وفي العام ١٧٣٠ يلاحظ دو فاي du Fai قوى جذب وتنافر بين الأجسام المكهربة. تأدت به هذه الواقعة إلى أن يفترض وجود نوعين مختلفين من الكهرباء، إحداهما موجبة والأخرى سالبة، الأجسام ذات الكهرباء من النوع نفسه تتنافر في ما بينها. وسوف تتيح لنا هذه القوى أن نضفي الصيغة الكمية على مفهوم الكهرباء الذي لا يزال آنذاك غامضا وذلك باستخدام مفهوم الشحنة الكهربية: إذا كان «أ، ب وجـ» ثلاثة أجسام مكهربة فإننا نقول إن شحنة «أ» معادلة لشحنة «ب» (أو ضعفها على الأكثر)، إذا كان «أ و ب» يخضعان لقوة مماثلة في حال تبادل المواقع بينهما على المسافة نفسها من «جـ».

في العام ١٧٤٧ يبين واطسون و فرانكلين أنه إذا شُحن جسمان متعادلان أصلا عن طريق تآثر متبادل (مثلا عن طريق دلكهما معا) فإن شحنتيهما تكونان متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة. واستنتجا من هذا أن الشحنات لم تستحدث خلال التآثر(***) (فعل الدلك)، بل كانت موجودة فعلا في المادة وألفت بعضها بعضا: إن التكهرب يفصل الشحنات الموجودة بشكل مستديم.

(*) هذه الكلمة التي يضعها المؤلف بين القوسين هي الأصل اليوناني لكلمة كهرمان، وتعني اللامع المضيء. لذلك ترجم البعض كلمة إلكترون بـ «الكهرب» والجمع «كهارب» [المترجمان].

(**) هو العالم ستيفن غراي (١٦٦٦ – ١٧٣٦)، أول من اكتشف انتقال الكهرباء عبر خيوط طويلة [المترجمان].

(***) لاحظ صياغتنا للفعل «تآثر»، (بالمدة على الألف وليس بالهمزة)، لكي يختلف عن الفعل «تتأثر» في أنه يفيد التأثر المتبادل. ونعتقد أن الفعل بهذه الصورة يفيد المعنى الفيزيائي المقصود [المترجمان].

وقد صيغت تلك الخصائص المذكورة آنفا في مصطلحات كمية بفعل بريستلي وكافنديش، وخصوصا كولوم Coulum (الذي ظهرت إسهاماته الأساسية في العام ١٧٨٥). وصمَّم كولوم ميزان ليّ بالغ الحساسية، وقادر على قياس قوى صغيرة جدا. فأصبحت القوة بين جسمين ضئيلين مشحونين كهربيا - مماثلة جدا لقوة الجاذبية (الثقالة) النيوتنية (تتناسب عكسا مع مربع المسافة بين الجسمين). وأيضا تتناسب القوة مع حاصل ضرب الشحنتين، بينما تتناسب قوة الجاذبية (الثقالة) مع حاصل ضرب الكتلتين. مثل هذا التماثل سوف يفتح الباب أمام نظرية الكهربية الساكنة لكي تحرز بعض الخطى التقدمية السريعة، وذلك بنقل نتائج بواسون ولابلاس وغاوس في الجاذبية إلى الكهربية. وكمحصلة لهذه المقاربة، سرعان ما أُدخلت فكرة الجُهد الكهربي. ومع اختراع البطاريات الكهربية (اختراع فولتا يعود إلى حوالي العام ١٨٠٠) أصبح من الممكن توليد تيارات كهربية بصفة روتينية. وفي العام ١٨٢٦، أسس أوم القاعدة الإمبيريقية التي تربط بين التيار واختلاف الجهد، مما أدى إلى مفهوم «المقاومة».

وعبر كل هذا لوحظت أوجه تماثل قوية بين الكهربية والمغناطيسية، لكن دون أي محصلات عينية. وكان الارتباط بينهما وانتماؤهما لإطار أوسع مشترك بينهما، من وحي اكتشاف يعود إلى أورستد Oersted في العام ١٨٢٠: السلك الحامل لتيار كهربي يبذل قوة على المغناطيس. وبعد ذلك سرعان ما أرسى بيو Bio وسافار Savar القواعد الكمية التي تحكم الرابطة بين التيارات الكهربية والمغناطيسات، وأعطاها أمبير صورة أبسط، حيث يمارس كل عنصر من عناصر التيار فعله بصورة منفصلة. وفي العام ١٨٢٠ أيضا، كان أمبير يقيس القوة بين تيارين كهربيين ويكتشف أن سلكا على هيئة ملف يحمل تيارا كهربيا إنما يسلك سلوك المغناطيس.

وهكذا، يمكن للتيار الكهربي أن ينتج تأثيرات مغناطيسية، وأيضا أن يسلك سلوك المغناطيس. ولقد أوعز هذا على الفور بإمكان حدوث الظاهرة العكسية: هل يمكن أن ينتج المغناطيس كهرباء؟ لم يمض بعد ذلك سوى عقد واحد من الزمان، حتى جاء الرد على السؤال بالإيجاب في العام ١٨٣١،



بتأكيد من فاراداي - وقد أتاه الإلهام حين عمل مغناطيس متحرك على حث تيار كهربائي في سلك قريب. وكذلك اخترع فاراداي «المكثف»، ولاحظ أن وجود المواد العازلة يؤثر تأثيرا ملحوظا في شدة القوى الكهربية. و سوف تثبت الأيام الأهمية الكبيرة لدراسة هذا الذي يمكن أن نسميه الوسائط العازلة كهربيا.

نقطة تحول: معادلات ماكسويل

حوالي العام ١٨٤٠، قد يعتقد المرء أنه قد بلغ المعرفة الأساسية بمجمل الظواهر الكهربية والمغناطيسية، ولكن النظرة الأكثر تمحيصا تبين أن ثمة شيئا ما لا يزال مفقودا. المعرفة الحالية تتضمن قوانين تبين كيف يمكن للشحنات والتيارات الكهربية والعزوم المغناطيسية أن تولد قوة تؤثر في شحنات وتيارات وعزوم مغناطيسية أخرى. وأيضا كان ثمة مصنفات من قوانين أخرى مثل قانون أوم، أو قانون الحث. وعلى أي حال، فإن مراجعة كل تلك القواعد الإمبيريقية تكشف عن أنها، خلافا لمبادئ نيوتن، لا تشكل ديناميكا شاملة. بعبارة أخرى، هذه القواعد لا تتيح للمرء أن يستدل من قيم الشحنات والتيارات في اللحظة المعطاة على تطورها المستقبلي، ولا هي تفسر كيف تتحدد الخصائص الكهربية والمغناطيسية للمادة.

على أن هذا القصور الرياضي لم يكن الشغل الشاغل لباحثين معينين. فالأحرى أن استياءهم قد نبع من رغبتهم في الفهم التي لا يُشفى غليلها: لقد افتقدوا الصورة المرضية لحركة الشحنات والجسيمات المغناطيسية الحاضرة في المادة، والتي ربما كان الفعل المتبادل بينها هو الذي ينتج الظواهر الإمبيريقية الملاحظة. وإذا كان الفهم يعني القدرة على «رؤية» ما تكون عليه الأشياء، فهم بالقطع لم يفهموا شيئا. وسوف تكون المغامرة الكبرى الوشيكة الحدوث هي - على وجه التحديد - الخروج بمغزى ثروة المعارف التجريبية التي تراكمت عبر أجيال عديدة. ويكاد يكون هدف هذه المغامرة حلما مستحيلا: إحراز تساوق وترابط مكتملين، على الرغم من أن هذا قد يعني في الآن نفسه وضع نهاية لتمثلات حدسية عديدة.



وضمن فيالق الفيزيائيين، يقف أكثرهم براعة في الرياضيات - غاوس وأمبير وبيو وسافار وآخرون - لتتركز تحليلاتهم دوما على أفكار معينة - الشحنة، التيار، ثنائي القطب المغناطيسي - أسهل نسبيا في تصورها. وحتى إذا تصادف أن أشارت نظرياتهم إلى الجهد الكهربي أو الجهد المغناطيسي، فإنها تؤخذ أساسا على محمل الوسائل الرياضياتية التي تيسر حساب القوى، تماما كما هي الحال في نظرية الجاذبية.

ولكن لم يكن هذا هو منظور فاراداي. فحينما لاحظ أن برادة الحديد تتجه من تلقاء ذاتها بتأثير المغناطيس، توقع شيئا ما حقيقيا كائنا خلف خطوط «المجال» المغناطيسي، شيئا ما أكثر أهمية ودلالة من القوى التي تمارس فعلها عن بُعد كما فرضها المنظرون. لقد رفض صميم فكرة الفعل من بعد، وأراد أن يفهم كيف تشكل البرادة أو جزيئات العازل الكهربي أنماطا منظمة ويؤثر تدريجيا بعضها في بعض. ومن ثم شرع في بناء نماذج لسلوك المادة حين يؤدي الدور الرئيسي مجالان، مجال كهربي ومجال مغناطيسي. وباستخدام مثال برادة الحديد، دعنا نتذكر أن المجال «شيئا ما» له مقدار واتجاه (متجه vector)، محددان لجميع النقاط في المكان، ولعلهما يتغيران مع الزمان.

كان فاراداي مجربا من طراز رفيع وفيزيائيا عبقريا، لكنه أيضا اكتسب تعليما ذاتيا، وافتقر إلى المعارف الضرورية لوضع أفكاره في صيغة رياضية. ومن ثم بدت نماذجه قاصرة فيما يتعلق بجوانبها الكمية، حتى وإن كانت شديدة البراعة. إن بعث الحياة في أعطاف هذه النماذج شرف يحوزه تلميذه جيمس كليرك ماكسويل (١٨٣١-١٨٧٩).

ولكي نظفر بأفضل تفهم لإسهام ماكسويل دعنا نسترجع القوانين الرئيسية للكهرومغناطيسية والصورة التي عرفت بها تلك القوانين في ذلك الوقت. كان ثمة - ولا تزال - أربعة قوانين. الأول هو قانون كولوم، الذي يطرح القوة بين شحنتين. وبفضل غاوس، كان من المعروف كيف نعبر عن هذه القوة باستخدام فكرة المجال الكهربي. القانون الثاني يطرح بطريقة مماثلة قوتين بين عنصرين للمغناطيس. وباستخدام المجال المغناطيسي، يمكن وضع هذا القانون في صورة تماثل كثيرا صورة القانون الأول. القانون الثالث هو قانون أمبير (أو قانون بيو وسافار) . من منظور



فاراداي، يعبر هذا القانون عن قيمة المجال المغناطيسي المتولد بواسطة تيار. وأخيرا، نجد أن القانون الرابع هو قانون الحث الذي اكتشفه فاراداي نفسه، وهو قانون يعطينا مقدار المجال الكهربي المستحث في دائرة بواسطة اختلاف الفيض المغناطيسي خلال الدائرة. وبفضل فاراداي على وجه الخصوص، يمكن أن يقول المرء إنه يمكن صياغة قوانين الكهرومغناطيسية إما باستخدام المجالات، وإما باستخدام القوى الفاعلة بين الشحنات والتيارات.

وسوف تكون أولى مهام ماكسويل، في العام ١٨٥٥، أن يقوِّم كل هذا. بدأ بفحص القوانين التي كانت معروفة فعلا. وإنه لإقدام على مشروع عسير، مادامت الوسائل الرياضية التي كانت متاحة في هذا العصر قاصرة عن أداء المهمة المطلوبة . لم تكن المناهج المحدثة لحساب المتجهات vector calculus متاحة آنذاك. وعلى ماكسويل أن يولف بين التكنيكات الرياضية والحدس الفيزيائي، وهولا يتردد في استخدام تماثلات مع الهيدروديناميكا [الخاص بحركة السوائل] - وربما تكون أكثر المحصلات اللافتة للنظر التي تنجم عن نتائج ماكسويل هي إمكان إعادة تدوين القوة الكهربية بوصفها دالة للمجال الكهربي وحده، من دون أي إشارة إلى توزيع الشحنات.

في العامين ١٨٦١ و١٨٦٢ قطع ماكسويل خطى أبعد: حاول أن «يفهم»، أي أن يفك شفرة الواقع بطريقة سديدة. أراد أن «يرى» ما يجري داخل المادة تحت تأثير مجال، ولن يسعفه التعجب في شأن «الأثير ether» وكيف يبدو من منظور الكهرومغناطيسية. كان من الضروري افتراض وجود الأثير، لأنه إذا كان يمكن أن تمارس القوة الكهربية فعلها عبر الفراغ، فإن هذا الفراغ لا بد أن يكون «شيئا ما» ينقل تأثير القوة. بدأ من المادة، حيث يستطيع أن «يرى» سلوك الجزيئات، ثم واصل المسير إلى الفراغ. وبهذا تأدى به الأمر إلى تصور نموذج للأثير خيالي تماما. الأثير يحوي خلايا، تبث فيها الحياة تيارات ميكروسكوبية تفسر انتقال المجال المغناطيسي. كل شيء داخل الأثير، ثمة شبكة متضامة من الخيوط المرنة، خطوط المجال الكهربي التي ترتحل عبرها الشحنات. ربما كان جيروم بوش Jérôme Bosch هو الذي أوحى بهذا البناء الذي يبدو بأسره كما لو كان حلما، وقد شُيِّد خطوة خطوة، باستغلال التشابه بين الأثير والمادة. وقام ماكسويل



بتحليله في شكل بهي شامل وبالغ الجدية. وقد أخذ في اعتباره القوة المبذولة بين المكونات المختلفة لهذا النظام وتأثيرها في الحركة، بطريقة تقليدية متبعة للأصول ووفقا لمبادئ نيوتن.

بهذه الطريقة نجح ماكسويل في إعادة اكتشاف القوانين المألوفة للكهرومغناطيسية، لكن باختلاف ذي أهمية. والواقع أن القانون الثالث، الذي يعود إلى لابلاس وبيو وسافار، هو فقط الذي يحتاج إلى مراجعة. كان في صورته السابقة يصف كيف يولد التيار مجالا مغناطيسيا. ويدرك ماكسويل أنه من الضروري أيضا افتراض أنه يمكن خلق مجال مغناطيسي عن طريق مجال كهربي متغير. ويقترب هذا كثيرا من قانون الحث، حيث يمكن أن يولد التغير في المجال المغناطيسي مجالا كهربيا. ويطلق ماكسويل على المصدر الكهربي للمجال المغناطيسي اسم «تيار الإزاحة Displacement Current» (على الرغم من أن هذا لا يتضمن أي حركة للشحنة). وعلى الرغم من أن تأثير تيار الإزاحة بدا ضعيفا جدا في ظل الظروف التجريبية لذلك العصر، فإننا إذا نظرنا إليه من منظور المفاهيم والتصورات نجده ذا تضمنات مهمة للغاية،لأنه يفتح الباب للوصول إلى معادلات المجال «الكهرومغناطيسي» - إنها معادلات ماكسويل الرائعة البهية. وهي تتسم بخاصيتين أساسيتين: إنها تتقدم بمجال ديناميكي، بمعنى أنها يمكن حلها بالنسبة إلى أي زمن في المستقبل إذا كانت القيم في زمن مبدئي معروفة جيدا، وهي تكفل مبدأ بقاء الطاقة، إذا عُرِّفت الطاقة الراجعة إلى المجال المغناطيسي تعريفا صحيحا.

وكمحصلة لهذه الجهود، وجد ماكسويل نفسه في موقف لم يسبق له مثيل. فهو من ناحية قد توصل إلى قوانين فيزيائية جديدة، متسقة مع القواعد الإمبيريقية المكتشفة قبلا. وعلاوة على هذا، تعرض قوانينه الجديدة ترابطا وتساوقا فائقين بين الفيزياء والرياضيات. لكن من ناحية أخرى، نجد أن النموذج الذي أدى به إلى هذه النتائج، بما فيه من أثير معبأ بخلايا وخطوط هو نموذج غير راجح الكفة إلى حد بعيد، حتى عند من ابتدعه. الناتج النهائي كان جيدا، ولكن لا بد من تقويض النموذج الذي أنتجه.



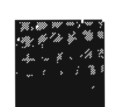
وهكذا يقفل ماكسويل في العام ١٨٦٤ عائدا إلى هذا الموضوع، لكنه يستخدم في هذه المرة منهجا مختلفا تماما. لم يكن التأسي بالأثير محل تساؤل، وعلى العكس من ذلك، يبدأ ماكسويل من مفاهيم خلو من المعنى الفيزيائي إلى درجة أنها تكاد تكون مفاهيم رياضية بحتة. «الأشياء» الّتي يمكن أن تكون في كل مكان هي المجالات الكهربية والمغناطيسية، وحيثما توجد هذه المجالات، توجد الطاقة. المكون الأساسي لهذه الطاقة هو ذاته جهد الطاقة، بينما يعتبر المكون المغناطيسي طاقة حركة. المنهج مختلف تماما من المنظور الرياضي. ومادمنا قد قمنا بتعرف المتغيرات (المجالات) وصورتي الطاقة، فمن الممكن تطبيق المناهج الديناميكية المجردة للاغرانج وهاملتون ومبدأ الحد الأدنى من الفعل لديهما، من دون معرفة أكثر بطبيعة النسق. وهذا هو ما يفعله ماكسويل أساسا، وأيضا ما سوف يفعله هرتز بعد هذا بوقت قصير، حينما يشذِّب المنهج. وهكذا يحصل ماكسويل، ربما بشكل أوتوماتيكي، على معادلات الديناميكا لمنظومة المجالات لديه. وهي لاتعدو أن تكون المعادلات نفسها التي اشتقها سابقا بمناهج مختلفة تماما.

إن هذا الإنجاز الأخير لماكسويل هو العلامة الدامغة لنقطة التحول التي طرأت على الفيزياء. أُسدِل الستار على الفيزياء الكلاسيكية، إذا كنا نعني بـ «الكلاسيكية» الفيزياء التفسيرية، حيث الواقع يتم تمثيله تمثيلا مرئيا بطريقة يتلقفها الحدس تماما. ولأول مرة وفي واضحة النهار، يحل محل الفيزياء الكلاسيكية فيزياء صورية مفاهيمها الأساسية (المجالات في هذه الحالة) ذات نكهة رياضية حادة، وتحديدا أصبحت مبادئها (معادلات ماكسويل، أو المكافئ الرياضي لمبدأ الحد الأدنى من الفعل عند لاغرانج) صورية ورياضية خالصة، نوعا من ماهية مجردة أو بالأحرى غامضة لمبدأ نيوتن الأول. وفوق ذلك، اتخذ مبدأ الحد الأدنى من الفعل عند لاغرانج مغزى جديدا، وأصبح بمعنى ما المبدأ القيادي في الديناميكا (*).

إذا سأل سائل هرتز عن المبدأ الذي يكمن خلف أسس معادلات ماكسويل، فسوف يجيب: المعادلات ذاتها. وهناك واحد في طليعة الفيزيائيين الحدسيين في عصرنا هذا، إنه ريتشارد فيينمان R. Feynman (**)، وقد اعتاد هو

(*) لا يزال مبدأ الحد الأدنى من الفعل، في صورته الكلاسيكية، محاطا بغموض وإلغاز. ولكنه غموض لا يختلف عن غموض ميكانيكا الكوانتم. وقد اشتق ريتشارد فاينيمان هذا المبدأ من ميكانيكا الكوانتم في العام ١٩٤٦ [المؤلف].

(**) عالم فيزياء بارز من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، بارع في الفيزياء النظرية الرياضية. وله إنجازه في آليات وحسابات البحث العلمي. حصل على جائزة نوبل [المترجمان].



الآخر أن يخبر طلابه بأنه من المستحيل تخيل المجال الكهرومغناطيسي. والحق أنه من بعد ماكسويل، لم تعد الفيزياء في واقع الأمر شيئا يمكن أن تراه الأعين مستعينة بالخيال والتواصل باللغة العادية. ولا يمكن البتة طرح مفاهيمها من دون الاستعانة – على أبسط الفروض – باللغة الرياضية. لقد أصبحت اللغة الرياضية في الوقت الراهن عنصرا مكونا لصميم الفيزياء، وليست فقط الصورة التكميمية للقوانين الفيزيائية. وإذا كان فولتير قادرا على شرح نيوتن، فلا فيلسوف ألبتة، مهما كان متألقا يمكن أن يشرح ماكسويل لماركيز نُزهي.

ومع هذا لا تزال الثمار دانية، ما دام المرء بفضل معادلات ماكسويل يمكنه أن يفعل ما سوف يفعله هرتز في العام ١٨٨٨، أي التحقق من أن المجال الكهرومغناطيسي يمكن أن يتذبذب – ذبذبة هي أيضا الضوء.

وثمة علائم أخرى، في هذه السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر، تنبئ بأن العمى سوف يحل ببصر وبصيرة الحدس شيئا فشيئا. وخطوة إثر خطوة، راحت المفاهيم الصورية تنتزع الغنيمة إثر الغنيمة؛ وهكذا حل الإنتروبي محل الحرارة. وفي اللحظة عينها، حين كان البعض على استعداد للمجاهرة بأن صرح الفيزياء اكتمل تقريبا، كان الوقت مهيأ لأن تولد فيزياء أخرى.





3

الرياضيات الكلاسيكية

من غير الوارد في عصرنا هذا أن فلسفة المعرفة يمكن لها أن تستغني عن التأمل العميق الجاد في الرياضيات. في العلم الحديث تتغلغل الرياضيات، بكل خصوبتها وحنكتها، في صوغ المفاهيم والقوانين، فلم يعد مقبولا أن نتوقف عن التدبر العميق لأمر المنطق، كما قد يفعل بعض الكُتاب.

تكمن الصعوبة الحقيقية، والسبب الذي يجعل الكثيرين يتجنبون الرياضيات، في أنهم ينزلونها حق منزلتها من دون بذل السنوات المطلوبة في دراسة الرياضيات. إن اتساع مداها باهر حقا، وهي كالمحيط الهادر تحوي ما لذ وطاب. بعض الناس أكثر خضوعا لإغوائها، وينفقون البقية الباقية من حيواتهم غارقين في غمارها؛ الآخرون يسعدهم أن يسبحوا بين الفينة والأخرى على مقربة من شواطئها؛ وثمة البعض الآخر، من المترفعين أو الهازئين، يأبى أن تطأ قدمه رحاب الرياضيات. وهكذا، تبدو الرياضيات، بتخومها غير المترسمة، محلا

> «كان ثمة على الدوام شعور بكمال وقدسية ارتبط بأرقام وأشكال؛ ميل غريب نجده أحيانا في الأطفال، يبدو وكأنه يوعز إلينا بأن بنيته موجودة في عقولنا»
>
> **المؤلف**



للترحاب أو إعلان العداء. ومع هذا، لا مندوحة لنا عن اقتحام عالم الرياضيات، ولا معبر إلى عالم الفلسفة أفضل من اعتماد المثل الأفلاطوني «لا يدخلّ علينا من لم يلم بعلم الهندسة».

سوف نقتصر على ما هو أساسي وجوهري، لكي نزكي ما يكفي لأن نقيم عليه نظرية المعرفة. وأيضا سوف نبين، بمعونة التاريخ، كيف أن الصورية الفظة، التي تتكبر وتزدهي من حين لآخر بأنها خاصة مميزة للرياضيات، هذه الصورية نتاج للضرورة والاتساق، وليست مذهبا باطنيا مستترا. وسوف نغض النظر عن أي شيء آخر يعدو هذا. ونقطة الضعف الأساسية في هذه المقاربة أنها تطرح جانبا الأفكار والمناهج التي تفسر خصوبة وثراء الرياضيات وبصيرتها. وسوف يكون من الضروري أيضا استبعاد معظم المفاهيم ومناهج الحسابات التي تكون ضرورية لعلوم أخرى، حتى أن هذا على وجه الدقة هو السبب الذي يدفعنا إلى خوض غمار هذه الغزوة. ومادمنا لا نملك شيئا حيال هذا، فسوف نترك الأمر على ما هو عليه.

الرياضيات الكلاسيكية

منذ متى والبشر منبهرون بالأعداد والأشكال؟ منذ الأزمنة التي تسقط من الذاكرة، ومن الناحية الفعلية اعتقدت الحضارات القديمة بأسرها أن أرقاما معينة لها خاصة سحرية أو مقدسة، تتغير بتغير الأزمنة والأمكنة. هل يمكن أن نتخيل الربات الإحدى عشرة للشعر والفنون (*)، والآلهة السبعة عشر فوق الأولمب، أو الأيام الثمانية لخلق العالم؟ ويمكن فهم واقعة مفادها أن الأرقام الصغرى سوف تبهرنا أكثر من سواها، ولكن لماذا ينبغي أن تكون الثلاثة والأربعة والسبعة والاثنا عشر أهم من الخمسة أو التسعة - وهذه الأرقام ذاتها أعلى من الستة والعشرة - بينما لا تعني الثمانية والأحد عشر أي شيء لأي شخص؟ أي أعداد تتجاوز هذا أعداد كبيرة جدا.

(*) هن إحدى عشرة ربة في الأساطير الإغريقية، يمثلن فروع الفنون المختلفة: كاليوبي أنبلهن وأجملهن صوتا، وكليو ربة التاريخ، وإيتورب ربة الأغاني الرعوية، و ثاليا ربة الكوميديا والشعر الفكاهي، وميلوبومين ربة التراجيديا، وتربيسيشور ربة الرقص، وإراتو المحبوبة الجميلة ربة الشعر الملحمي، وبوليمانيا ربة الأغاني القدسية، وأورانيا ربة الفلك، وثلاث ربات أخريات عجائز.. من الكلمة الدالة عليهن Muses اشتقت كلمة Music موسيقى، وكلمة museum أي متحف [المترجمان].



أما جاذبية أشكال هندسية معينة، مثل الدائرة أو المثلث المتساوي الأضلاع أو المربع، فيمكن تفسيرها بالتماثلات العديدة معها. ولكن كيف أمكن لزعم معين مفاده أن الدائرة هي فقط المنحنى الكامل أن يكون معلما دامغا لعقول الإغريق المقدامة، حتى أنهم رفضوا كل الأشكال الأخرى، ورأوها غير جديرة بالأجرام السماوية؟ كان ثمة على الدوام شعور بكمال وقدسية ارتبط بأرقام وأشكال؛ ميل غريب نجده أحيانا في الأطفال، يبدو وكأنه يوعز إلينا بأن بنيته موجودة في عقولنا.

بشكل عام، يسود الاعتقاد أن الرياضيات ولدت من رحم الخبرات العملية: يمكن أن نتتبع الدائرة باستخدام خيط؛ والشكل القائم الزاوية يضمن مساحة ثابتة للحقل الذي تتميع حدوده بطمي النيل؛ ومن أجل إقامة الزوايا القائمة الضرورية يمكن تشييد مثلث قائم الزاوية باستخدام حبل تتوزع العقد عليه تبعا لمسافات هي على التتابع ٣ و ٤ و ٥ . وفي وقت مبكر جدا اكتشف طاليس أنه يمكن استخدام أشعة الشمس المتوازية، التي يمكن رؤيتها حين تخترق سماء ملبدة بالغيوم، وذلك لقياس ارتفاع شجرة بأن نقارن بين طول ظلها وطول ظل عصا. وينشأ عن هذا جميعا، كل من الشغف بالكسور ووجود تناظر وثيق بين الأشكال والأعداد.

قطع فيثاغورث خطوات أبعد، وذلك بمبرهنته الشهيرة عن المثلث القائم الزاوية، حيث يتجلى التناظر المذكور آنفا في أجلى صوره. ربما خمّن هذه المبرهنة حين رأى رسما بسيطا، لكن من المؤكد أن الرياضيات امتلكت فعلا الأدوات المنطقية الضرورية حينما أثبت ذلك الفيثاغوري المجهول أنه لا كسر يمكن أن يقيس قطر المربع. إن المنطق هو الأخ التوأم للرياضيات؛ والمنطق فقط هو الذي يجعل الإثبات ممكنا. على أننا قلنا هذا من قبل.

يذكرنا اكتشاف قطر المربع أصم غير جذري بنظرية توماس كون الشهيرة، ووفقا لها يسير التقدم العلمي من خلال النماذج الإرشادية [البارادايمات]•، أي من خلال أمثلة لافتة جدا وموحية جدا إلى درجة أنها تستمكن مما يشبه القبول العقائدي. كان اكتشاف الأعداد الصماء نوعا من باراديم البارادايمات، لأنه يتضمن بذور علم لا متناهٍ. ولا بد أن صاحبنا الفيثاغوري البارز قد عاش قبيل سقراط. وقد عرف أفلاطون بالفعل بعض النتائج الرياضية الجيدة، وقد اكتشف معاصره إدكسوس عددا كبيرا من المبرهنات في الهندسة ونظرية الأعداد. وسرعان ما بلغت



الرياضيات أوان النضج مع أقليدس السكندري، ولا نعرف عنه إلا أنه عاش بضع سنوات بعد رحيل بعض من تلاميذ أفلاطون (رحل المعلم في العام ٣٤٧ قبل ميلاد المسيح) وقبل أرشميدس (٢٨٧ - ٢١٢ ق.م.).

حتى إن كان التاريخ لم يستبق إلا بضعة من الأسماء اللامعة في هذه الحقبة، فالذي لا شك فيه أن أسلوب أقليدس الرياضي ينم عن المناقشات الطويلة التي سبقت عمله، مناقشات الإغريق ذوي الطيبة والشغف. وفي هذا نجد تتبعا لأبسط الفروض، وجهدا لطرح الحجة الوحيدة التي لا تقبل الدحض، واستبعاد غير الضروري الذي لا يمكن أن يكون إلا نتيجة لمراجعات لا تنتهي، نصل إليها عبر معارضات لا تنتهي في سباق محموم نحو الكمال. تذكرنا محاورات أفلاطون المبكرة بمثل هذه الأحاديث المفعمة بالحياة ، وتلك المحاورات تأمل عميق في هاتيك المناظرات. بعض منها تحوز منتهى الشرعية، مثل تلك الخاصة بالمسلمة الشهيرة لأقليدس عن الخطين المتوازيين: لا يوجد إلا خط مستقيم واحد موازٍ لمستقيم معلوم ويمر بنقطة معلومة لا تقع على المستقيم المعلوم (وهو يقصد بـ «التوازي» أن المستقيمين لا يلتقيان أبدا). ولنتذكر أن فيثاغورث اعتقد أن النجوم مثبتة في كرة سماوية؛ وأن آخرين اعتقدوا أنه لا يوجد فضاء بعد هذه الكرة؛ إذن نتخيل نوع المساجلة التي ربما أثارها الوجود المفترض للمتوازيين. تفترض مسلمة أقليدس بدورها أن المكان لا متناهٍ؛ وأنه لذلك ووفقا لروح ذلك العصر، يخفي في جوفه فرضا كوزموغونيا (*) خبيئا. وقد يقع المرء في إغواء إسقاط هذه المسلمة، ولكن في هذه الحالة ما كانت نتائج عديدة ثمينة للغاية ستظهر للوجود - مثلا أن حاصل جمع زوايا المثلث مساوٍ لقائمتين.

وجود مثل هذه المعضلات يفسر لنا حرص أقليدس على التمييز الحاسم بين أنواع الافتراضات: البديهيات والمسلمات والتعريفات والفروض. البديهية هي الحقيقة الواضحة بذاتها والتي لم يحدث قط أن تشكك فيها أي إغريقي خلال مناقشة ما، مثلا «حين يلتقي خطان منفصلان (مستقيمان) تكون ثمة نقطة واحدة فقط مشتركة بينهما». أما المسلمة فهي قضية نفترض أنها صادقة، حتى لو كان وضعها قد أثار تساؤلات في الماضي. أجل أولئك الذين

(*) الكوزموغونيا قصائد ملحمية مطولة تحاول أن تتصور أصل الطبيعة وملحمة تكون هذا العالم، شهدتها بلاد الإغريق في العصر الأسطوري السابق على ظهور الفلسفة [المترجمان].



يخوضون المباراة الرياضية يسلمون فعلا بصدق المسلمة، لأنهم يعرفون جيدا أنهم إذا أنكروها، فسوف تفقد المباراة جانبا من روعتها. فقط في عصور لاحقة، سوف يتم هجران هذا الفصل الحذر الواعي بين البديهيات والمسلمات وبات صدق البديهيات محل نظر، تماما مثل صدق المسلمات. أما بالنسبة إلى تعريفات أقليدس، فإنها ذات أنماط عديدة. بعضها تعريفات بالغة الوضوح وصادقة، بمعنى أنها تتيح إقامة الحجة من دون أدنى غموض - مثلا تعريف الدائرة: كل النقاط على مسافة متساوية من نقطة أخرى هي المركز. بعض التعريفات الأخرى تكاد تكون كلمات نتفوه بها من دون الاقتناع بها كثيرا، فهي تعبر عن شيء ما مثل «أنا لا أعرف كيف أطرح هذا لكنك بالتأكيد ترى ما أقصده» - الخط المستقيم «معرف» بأنه ما يقع بشكل مستو على نقاطه جميعا. وأخيرا تفيد التعريفات فقط في أن تجعل الموضوعاتُ المطروحة للمناقشة دقيقة، والسياق الذي نرد فيه محددا بدقة. تبدأ التعريفات عادة بالتعبير «افترض»: «افترض أن مثلثا منفرج الزاوية...».

بانتهاء العصور القديمة، تراكمت معارف هندسية ذات اعتبار، من خصائص المثلثات والمضلعات والدوائر والمخروطات (الإهليلجات [القطوع الناقصة] والقطوع الزائدة والقطوع المكافئة) إلى خصائص المنحنيات الأخرى الناشئة عن حركات بسيطة. في هذا المدى كانت المعارف معنية أساسا بالمجسمات المتعددة السطوح والكرات والأسطوانات والقطوع الناقصة للدوران. ولا ننسى حساب المثلثات، المستوي والكروي، وأنه كان شديد المواءمة لتنظيم الأرصاد الفلكية.

أما في ما يتعلق بالحساب، وهو علم مفيد بقدر ما هو قاحل وغير شائق، فلن نقول شيئا بخلاف لفت الأنظار إلى أنه أدى إلى ميلاد الجبر، والفضل يعود إلى ديوفانطس، الذي عاش في الإسكندرية إبان القرن الثالث الميلادي. لا نعرف عنه إلا القليل، وأنه قضى سدس عمره طفلا، وواحدا على اثني عشر من عمره بالغا؛ أي أنه عاش سبعة أعوام زائدة قبل أن يرزق بابنه الذي عاش نصف ما عاشه أبوه، وأخيرا أن ديوفانطس عمّر أكثر من ابنه لمدة تعادل سدس عمره. محصلة كل هذه الحسابات تجعل عمر ديوفانطس أربعة وثمانين عاما. ربما كان معلما هو الذي اخترع الجبر. فمن السهل أن نتخيل شخصا فقيرا يمل من ترديد الحجج التي

تؤدي إلى الحسابات نفسها، ويدرك أخيرا أن القيم المعينة للأعداد غير ملائمة، وأن كل تلك الأمور هي نموذج العمليات على هذه الأرقام. ولتكن ما تكونه، فلم يتصور أحد أنه من الضروري أكسمة الجبر [=بدهنة الجبر، أي جعله نسقا بديهيا]، أي وضع بديهيات له على طريقة أقليدس، لأن هذا قد تم بالفعل بالنسبة إلى نظرية الأعداد، وبخلاف هذا فإن الجبر - كما يسود الاعتقاد - ليس أكثر من مجموعة من «الوصفات» الملائمة لتلخيص بعض العمليات الحسابية المعروفة.

تأخر تطور الجبر طويلا بفعل الأساليب المعقدة التي استخدمها الإغريق والرومان في تدوين الأرقام. وفي ما بعد أزاحت الحضارة العربية هذه العقبة، فقد جرى استعمال الأرقام «العربية» التي لانزال نستعملها حتى اليوم، مثلما نستعمل اختراعهم للصفر، وهو فكرة أسطورية واردة من الهند. وتبع هذا اختراع الأعداد السالبة. وكان التدوين الجبري ملائما، ذلك أن التعبير الرمزي الذي يمثل عمليات على الأرقام (باستخدام علامات، مثل + ، - ، =) كان يحرز خطى تقدمية.

لا حدود لأهمية رموز التدوين في الرياضيات. إن رموز التدوين التي جرى انتقاؤها بعناية توعز بالعمليات الصائبة وتحرر الذهن من تشتت للجهد لا طائل من ورائه، بينما الرمزية الآتية عن سوء اختيار تمثل عقبة من عقبات التفكير.. من منظور المنطق والصرامة، التدوين الرمزي غير موائم، بيد أن له ثقله على العلاقة بين الخيال والصورية. التدوين الرمزي الكفء لا بد ملهم، ذو معنى، ملائم لمخيلتنا بقدر ما هو ملائم لموضوع البحث. هل هذا هو السبب الذي جعل الجبر من نواتج الحضارة العربية، التي ترفض أي أصنام وصور صريحة وأعطت الجبر اسمه؟

عرف الأقدمون كيفية حل معادلات الدرجة الثانية والمعادلات الخطية (معادلات الدرجة الأولى) فقط. وحينما بُعثت الرياضيات في أوروبا، خلال عصر النهضة، اكتشف كاردان وتارتاليا منهجا لحل معادلات من الدرجة الثالثة والدرجة الرابعة. وفي إنجاز هذا، صودفت لأول مرة الأعداد التخيلية، وقد كان النموذج الأصلي لها هو الجذر التربيعي للعدد «- ١». وفي بعض الحالات، حينما نعمد إلى حل معادلة تكعيبية (أو من الدرجة الثالثة) - لكي نحصل على قيمة عددية محددة للمجهول - يحتاج المرء إلى أن يطرح في



عملية الحل أعدادا تخيلية، تقوم بدور يشبه دور الوسطاء (ولكنها لا تظهر في المعادلة الأصلية ولا في حلها النهائي). تؤكد هذه الظاهرة الغريبة، لأول مرة، الطبيعة المنفردة لعلم الجبر، مقارنة برياضيات أقليدس المدونة جيدا، مما يجعل من الصعب اعتباره حاشية لعلم الحساب.

في القرن السابع عشر، جاء دور الهندسة لتصبح علما مصقولا، وذلك بفضل ديكارت وفرما. الفكرة الأساسية هي تعريف النقطة الهندسية عن طريق إحداثياتها - الأعداد التي تحدد موقع النقطة بالنسبة إلى نظام من المحاور. حينئذ يتحدد تماما المنحنى على السطح المستوي عن طريق معادلة تستوفيها إحداثيات نقاطه. بهذه الطريقة يمكن رد مشاكل عديدة في الهندسة إلى حسابات جبرية.

وكانت هذه خطوة واسعة إلى الأمام قطعتها الهندسة، لأنها لا تستطيع أن تتخلص من الإطار المحدد الذي فرضته مناهج أقليدس، حيث لم يكن ممكنا الوصول إلى منحنيات إلا من خلال السطوح المستوية والمستقيمات والدوائر والكرات والمخروطات. وأيضا أتاح التكنيك الجديد معالجة أسهل لمنحنيات معينة ظهرت في أواخر العصور القديمة - مثلا تلك المنحنيات التي تنشأ كمسارات لحركات، من قبيل المنحنى الدويري الشهير الذي يرسمه ظفر مثبت في حافة عجلة تدور. وأيضا نشأ عن تلك المناهج المستجدة بعض الصعوبات العويصة والتي ستعمل خفيا على تعديل طبيعة الرياضيات. كانت الأجزاء المهيبة التي أضيفت إلى هندسة أقليدس قائمة على الجبر وحده، ولم تعد تقوم على البديهيات ذات الطبيعة الهندسية، لكن الجبر ذاته، كما رأينا، يعاني من بعض أوجه القصور. كيف يمكن حل تلك الصعوبات؟ من الناحية العملية، كانت نوعية الحلول المطروحة لتلك الصعاب والشكوك أقرب إلى أسلوب الإسكندر في حل عقدة غورديان منها إلى منطق أقليدس المتعقل المثابر؛ كانت الحل اللائق بجيش الغزاة: «تجاهل العقبات وامض قدما».

ينبغي ألا نهدر وقتا، لأن ثمة الكثير من الغنائم لنظفر بها. وينتهي القرن السابع عشر بفعلة باهرة: اختراع حساب التكامل وقد قام بهذا نيوتن وليبنتز تقريبا في الوقت نفسه. وهو في الواقع ذروة تقدم مطرد أسهم فيه رياضيو العصر العظماء أجمعون بدرجات متفاوتة. بيد أنه



حساب أيضا وبالمعنى الحرفي سيل عرمرم بدأ ينهمر، فيض باذخ راح يتدفق، حاملا معه مشكلات جديدة بقدر الحلول التي يتمخض عنها: نتائج جديدة مذهلة، تكفي لملء مجلدات أويلر الضخمة الثلاثة والعشرين، ولاتزال ثمة وفرة لعمالقة رياضيين آخرين: الإخوة برنولي ولاغرانج ودولامبير ولابلاس وفوريه الذين واصلوا طريق الكشف والإبداع حتى مجيء القرن التاسع عشر.

كم كان المثال الإغريقي نائيا قصيا، حينما لم يتردد أويلر في أن يخط بقلمه أن حاصل «١ - ١+١ - ١+١ - ١+...» هو ١/٢، حتى لو كانت حواصل الجمع المتتابعة الجزئية هي فقط «١» و«صفر». ومع ذلك كانت تلك المناهج غير المعتمدة في الأعم الأغلب تحرز نجاحا يفوق كل التوقعات المعقولة. وحين بدأت تلك الدفعة تخمد وتعود إلى الوراء وتراجع ما أنجزته، بدأ نفر يتساءلون: كيف تعود الرياضيات ولودا منتجة من جديد؟ وأيضا كيف لها أن تصلح ذات البين مع المنطق الذي يطلب اليقين. سوف تشغل الإجابة عن السؤال الثاني البقية الباقية من هذا الفصل. وكما سنرى، في هذه الإجابة عن السؤال الثاني نجد بالمثل مفتاح حل السؤال الأول.

الصرامة والوفرة في القرن التاسع عشر

الرياضي بطبيعته لا يميل إلى الصرامة أكثر مما يميل إليها السياسي؛ كلاهما يوفر الصرامة حينما لا يكون ثمة مفر من هذا. وقد رأينا كيف التقى الإغريق على حين غرة بالصرامة، وسنرى الآن كيف فرضت نفسها مجددا على خلفائهم، ومتى تأدت بهم إلى اكتمال الصورية. ثمة حركتان متقابلتان إلى حد ما حدثتا خلال القرن التاسع عشر، وهو عهد مبارك للرياضيات. إحدى هاتين الحركتين تفضل ازدياد الصرامة، بينما واصلت الأخرى فيض الكشوف والإبداعات، بعد فترة توقف قصيرة.

بدأت الحركة بكارل فردريش غاوس (١٧٧٧ - ١٨٥٥) C.F. Gauss. لُقب بأمير الرياضيات، وهذا اللقب مثله مثل لقب أمير الشعراء يعبر عن إعجاب نظرائه بحياة مفعمة بالعمل بقدر ما هي مفعمة بالإنجاز. وغاوس على أي حال جدير بكل تقدير، لأنه أعلن أن الصرامة هي أم الإبداع.



قبل غاوس كان من المفترض بشكل عام أن أي معادلة رياضية معطاة لا بد أن لها جذورا يمكن أن تكون في بعض الأحيان أعدادا مركبة (تخيلية). وقد بذل دولامبير محاولات ناجحة لإثبات هذه الحقيقة الأساسية التي يرسو عليها القطاع الأعظم من الجبر والهندسة. وأحرز لابلاس نجاحا أكبر، ولكن غاوس هو الذي وصل أخيرا، نحو العام ١٨١٥، إلى البرهان المقنع. لقد تم بشكل حاسم التحكم في استخدام الأعداد المركبة في الجبر.

امتلك غاوس حسا نافذا بالصرامة المنطقية، أقوى من حس أقليدس، وامتلك استباقا للتصورات المستقبلية في الرياضيات. تقطع مدوناته الشخصية بأنه يتربع على قمة عصره، ولم يتردد في أن يضع مسلمات الهندسة الأقليدية على وجه التعيين موضع السؤال. كان مهموما هما خاصا بمسلمة التوازي. حاول آخرون قبله استنباطها من المسلمات الأخرى، غير مدركين أنهم بهذا يضعون أول مدماك في الهندسة اللاأقليدية. إن مقاربة غاوس مختلفة تماما، إذ كانت لديه شكوك حقيقية في صدق المسلمة الخامسة. وفضلا عن هذا، لم يكن مقتنعا إطلاقا بالانسجام الضروري الذي لا بد أن يوجد، وفقا للفيلسوف كانط، بين المكان الذي يتصوره الرياضيون والمكان الذي ندركه بحواسنا. منحه عمله في الجيودسي الفرصة لكي يتحقق مما إذا كان حاصل جمع زوايا مثلث (فيزيقي) ضخم، رؤوسه قمم جبال، مساويا فعلا لقائمتين. وكان هذا هو ما توصل إليه على وجه الدقة، بيد أن الأخطاء التجريبية التي لا مفر منها تفسح مجالا لشك معقول لا يزال قائما. على أي حال كان يعرف أن الأفضل له ألا يعلن وساوسه للعامة، مادامت الكانطية كانت آنذاك الفلسفة القائمة في ألمانيا، وكان أشد ما يمقته غاوس هو الدخول في حوارات عقيمة. وبالتالي قرر أن يحتفظ بشكوكه لنفسه.

صمم آخرون أقل منه حذرا على الدخول في المواجهة مباشرة. أولهم لوباتشيفسكي وبولياي. نحو العام ١٨٣٠، قاما ببناء هندسة يمكن فيها أن يمر عدد من الخطوط الموازية لخط معلوم بالنقطة نفسها. تبعهما ريمان، ليبيِّن في العام ١٨٥٤ أن ثمة احتمالات أخرى، من قبيل هندسات لا توجد فيها أي خطوط موازية لخط معلوم. وهبت عاصفة المناظرات المتوقعة حول هذا في



الدوائر العلمية، ولكن في النهاية أدرك الجميع أنه لا يمكن إنكار الاتساق المنطقي في هذه الهندسات الجديدة. وعلاوة على هذا، يمكن رسم نماذج لبعض هذه الهندسات داخل المكان الأقليدي. مثلا، واحد من هذه النماذج نأخذه من كرة عادية إذا كنا نأخذ «الخط» على أنه دائرة كبيرة. مثل هذه المناقشات سوف تتمخض عن فهم أفضل للجوانب الغائمة والاصطلاحية في التعريفات القديمة، التي اعتدنا تأويلها بجرعات مكثفة من الحدس البصري. أما عن النتائج التي تم الوصول إليها، فإنها تكشف عن ظاهرة جديدة، وهي ظاهرة سوف تعاود الحدوث مرارا وتكرارا في المستقبل: البحث عن صرامة أكبر ليست ممارسة خاملة وتكرارية، بل يمكن أن تفيد في عرض إمكانات جديدة لاتزال مجهولة.

وإبان هذه السنوات عينها، دخلت الصرامة أيضا في أسس التحليل. لاتزال فكرة التكامل مترددة بين الصياغة الحدسية - باستخدام المساحات أو الأحجام أو الكتل - وبين صياغة أخرى قائمة على فكرة الابتدائية (الدالة التي نعرف مشتقاتها) التي لم تكن صحيحة إلا في حالات معينة؛ وكان لايزال ثمة آخرون، ربما أكثر نزوعا للميتافيزيقا، منشغلون بوجود كميات غير قابلة للقسمة. أزيحت هذه الفوضى تماما بفضل أوغستين لوي كوشي (١٧٨٩ - ١٨٥٧) A.L. Cauchy وبرنارد ريمان (١٨٢٦ - ١٨٦٦) B. Riemann. لقد بينا كيف يمكن تعريف تكامل دالة معطاة بأنه نهاية حاصل معين من عناصر تتزايد في العدد وتتناقص في الحجم لتغدو لا متناهية في الصغر.

تعود الفكرة إلى ليبنتز، الرمز المعين للتكامل وهو S «ممطوطة، يشير إلى حاصل تعميمي. على أي حال، فإنه بعد النتائج الأولية لكوشي، التي اكتملت بنتائج ريمان في العام ١٨٥٤، بات واضحا أن هذه الفكرة عن الحاصل ليست مجرد تقريب حدسي، بل هي تعريف شرعي تماما. النهاية محل البحث موجودة وفريدة، أي أنها مستقلة، مثلا، عن الطرق العديدة التي يمكن بها تقسيم مساحة إلى قطع صغيرة. حينئذ بدا التحليل قائما على أساس متين، والآن يمكن العمل بفكرتي التكامل والمشتقة (يمكن النظر إلى مشتقة الدالة أيضا بوصفها نهاية).

لكن ثمة مفهوما، ربما كان أساسيا أكثر من المشتقة أو التكامل، ظل غامضا تماما. إنه مفهوم الدالة function - صميم الشيء الذي ينصب عليه التحليل. لقد تميز القرن الثامن عشر بميلاد التحليل كأداة للهندسة

والديناميكا. وسادت تطبيقاته في هذين المجالين حتى أنه لم يساور أحدا الشكُّ في أن الدالة التي تظهر في التحليل يمكن أن تكون أي شيء سوى توليفات من كثيرات الحدود والجيوب وجيوب التمام والأسيات والدوال الأخرى المألوفة.

سرعان ما أتيحت طرق جديدة لتوليد دوال، وبدأ الافتراض الساذج يتداعى. دوال المتغيرات المركبة ومتسلسلات فورييه (التي سوف نعود إليها) كشفت عن أن الإطار الأسبق كان ضيقا للغاية. تزايدت الحاجة إلى الهروب منه بفعل تلك الدفقة التي أحسها الرياضيون ليدفعوا بتعميم نتائجهم إلى حده الأقصى. وهكذا، لم يكد السؤال عن أي الدوال تكون هي المشروعة، يُطرح، حتى بدت الإجابة عنه ذات أولوية قصوى.

إن هذا ليهيب إلى تأمل عميق يأتي من داخل الرياضيات، ويجب أن نضيف إليه علة خارجية ذات سمة اجتماعية: لقد ارتفع مستوى الدراسة في الجامعات ومعاهد التعليم العالي الأخرى. بات التدريس مهمة تنطوي على مخاطرة وتحدٍ، أحيانا ينصب على أقصى حدود التطور المعرفي، مع إمكان الوقوع في الخطأ أو التناقض. لهذا السبب جاءت نتائج كوشي في إجراء التكامل أول ما جاءت من خلال فصوله الدراسية في مدرسة البوليتكنيك. وفي الوقت نفسه، حدث تطور مهم في ما يتعلق بالمنزلة الاجتماعية لعالم الرياضيات. جميعهم على وجه التقريب يضطلع الآن بالتدريس، مما أدى بمجتمع الرياضيات إلى تفضيل العود، إلى الأصول. وأخيرا نجد أن المواجهة مع الشبان – تاريخ الأصول الإغريقية يعيد نفسه مجددا – رجحت كفة النظرة المستجدة إلى الأصول. في الوقت نفسه، كان من الضروري للممارسة الفعلية أن تهيئ المعلمين للوقوف في وجه الاعتراضات، وتزودهم بالحجة والحدة في المناظرات الجدلية. ولكن ربما كان هناك سبب ما آخر، أسمى وأرفع مقاما: تلك الظاهرة المعروفة جيدا والمحيرة دائما، ظاهرة أعظم العلماء الذين يكونون أيضا الأكثر اهتماما بقياس أبسط التكنيكات.

وكان كارل فييرشتراس (١٨١٥ – ١٨٩٧) K. Weierstrass هو أستاذ الصرامة، والشخص الذي صب التفكير الرياضي صبا في قلب ما هو «عيني». إنه المعلم الأكبر في توضيح بعض الأفكار الشائعة الاستعمال،

من قبيل فكرة الدالة المتصلة، أو فكرة الأنماط المختلفة لتقارب المتتابعات. سوف نغض النظر عن التفاصيل، لأننا لا نريد لعرضنا أن يكون فنيا متخصصا. وبفضل فيرشتراس وآخرين، أصبح التحليل يرسو أخيرا على أسس صلبة، وبات من الممكن التحقق من مدى مبرهناته. كلما كانت المبرهنات أكثر عمومية، كانت أكثر إبهارا؛ وكانت أكثر إشباعا للحس الجمالي المميز الذي هو شقيق الرياضيات. تلك الرغبة في العمومية تهيب دائما بأسس أصوب وأصوب، وبالمثل بحرية أوسع. وبهذه الطريقة تواصل، بشكل صلب ومنسق، الفحص المزدوج للأسس والإضافات الممكنة للبنية.

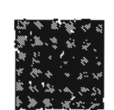
وكانت ثمة في الوقت نفسه تطورات أبعد في التحليل. نتجت هذه التطورات عن دراسة أنساق المعادلات التفاضلية التي تنشأ في الميكانيكا والفيزياء، وفي التطبيق على الهندسة وبطبيعة الحال تلك التي تنشأ عن النتائج الجديدة. ولزاما على الأسرة الصغيرة من الدوال المألوفة أن تفسح مجالا لفيالق الوافدين الجدد: الدوال الناقصة والدوال فوق الهندسية، ودوال بيسيل Bessel وهيرميت Hermite ولجندر Legender وجاكوبي Jacobi إلى آخرهم - ويمكن أن تجد قائمة بأسمائهم في موسوعة علماء الرياضيات Who is Who في ذلك الوقت - ويكشف كل واحد منهم عن اهتمام معين. إن الدوال أحادية المتغير المركب، التي تكاد تكون طرفة، أصبحت أساسية. والمثير للدهشة أنها باتت مفيدة جدا في كل صنوف الحسابات. وأخيرا، أثار المبدأ الأساسي للتحليل بعض الأسئلة المهمة التي تستحق أن نناقشها على حدة.

ليس من السهل أن ننقل مدى التضخم المذهل في الجبر والهندسة خلال هذه الحقبة، فقد تواترت إبداعات وإضافات في كل صوب وحدب. وثمة سؤال قديم في الجبر، جاء من حب استطلاع بسيط، وسوف يفتح آفاقا لم يتوقعها أحد: هل يمكن - على الأقل من حيث المبدأ - أن نحل أي معادلة جبرية معطاة بصياغة واضحة، كما هي الحال في كل المعادلات وصولا إلى معادلات الدرجة الرابعة؟ الإجابة بالنفي، وسوف يجدها أبل Abel وغاليوس Galios. على أن الأداة التي استخدمها غاليوس، وهي نظرية المجموعات [أو الزمر]،

أهم كثيرا من المشكلة التي تحلها. فهذه الإجابة علامة دامغة على خطوة أبعد نحو التأويل الصوري للموضوعات الرياضية، فالمعادلات لها حلول عددية، حتى لو كنا نعلم أنها موجودة، لا يمكن حلها على وجه التحديد.

وأيضا دُرست المعادلات الخطية. وهي معروفة منذ العصور القديمة، وكانت مناهج الحل متاحة منذ أمد طويل. وحين يكون عدد المجهولات لا يزيد على ثلاثة، تمثل المعادلة الخطية سطحا مستويا في فضاء ثلاثي الأبعاد، وبهذا يمكن وضع قطاع كبير من الهندسة في إطار جبري. والرغبة في التعميم سوف تحفز هذا التفاعل بين الجبر والهندسة، نوع من الباليه، حيث كلا النظامين يرفع الآخر. لم يعد التفكير الهندسي مقيدا بالمكان الثلاثي الأبعاد، مادام الجبر يجعل من الممكن أن نتحدث بالوضوح نفسه عن أمكنة لها أي بعد. واحتفظت بعض المفاهيم المستجدة بالوجود الحي المتوقد في الهندسة وفي الجبر على السواء: فقد ارتبطت المصفوفة بتغير مجهولات في الجبر، وبتغير محاور إحداثيات في الهندسة.

إنها مباراة في الاندماج والتوحيد، تبلغ ذرا جديدة مع بونسليه Poncelet وشازل Chasles وبلوكر Plücker وكايلي Cayley. إن المفردات التي يستخدمونها مفردات الهندسة - النقاط والخطوط والقطوع المخروطية والسطوح المستوية والمربعات - بينما تنتمي المفاهيم المفهومة ضمنا إلى الجبر. فكرة الخط المستقيم تناظر فكرة المعادلة من الدرجة الأولى، وينظرون إلى القطوع المخروطية على أنها معادلات من الدرجة الثانية. الهدف من المباراة إحراز كل تقدم هندسي ممكن من جراء تلك الأفكار الجبرية، من دون أي اضطلاع بإجراء حساب منفرد. وممارسة هذه الهواية، التي قد تكون ظريفة جدا، سوف تؤثر تأثيرا كبيرا في إعادة تنظيم الرياضيات. مثلا، ابتدع جرغون Gergonne التحويلات عن طريق الأقطاب العكسية، مما بين إمكانية التبادل بين فكرتي النقطة والخط. وبغتة بات واضحا أن طبيعة الرياضيات صورية أكثر منها حدسية: ليس ما يعنينا في الرياضيات هو طبيعة الأشياء، بل العلاقات التي توجد بينها.



وأيضا أدركوا أن خصائص هندسية معينة تشكل كلا متسقا بشأن تصورات المسافة أو الدائرة أو الزاوية القائمة. وبالتالي يمكن النظر إلى مثل هذه الخصائص على أنها في ذاتها هندسة، تسمى الهندسة المترية. خصائص أخرى تكون لامتغيرة invariant مع الإسقاط - من مستوى لآخر، مثلا؛ وهذه هي الخصائص الإسقاطية. كان فليكس كلاين F. Klein هو الذي أوضح في العام ١٨٧٢ وجود مثل هذه العائلات من الخصائص الأوتونومية، وذلك في محاضرته الافتتاحية في جامعة إيرلانغن Erlangen. اختُزلت الهندسة الإسقاطية إلى التعبير، في صورة مبرهنات، عن تلك الخصائص الجبرية اللامتغيرة تحت تأثير زمرة [مجموعة] معينة من تحويلات الإحداثيات، أي زمرة التحويلات الإسقاطية؛ وبالمثل بالنسبة إلى الهندسة المترية، التي تعبر مبرهناتها عن علاقات جبرية لامتغيرة بالنسبة إلى زمرة تحويل مختلفة - زمرة تحويل تغيرات إحداثي من نظام محاور متعامد إلى آخر. وبمزيد من العمومية، نجد الهندسة مرتبطة دائما بزمرة معينة. وفي مثل هذه الظروف لا يدهشنا أن نرى نوبة اهتمام متزايد تتجه نحو «البنيات» الجديدة التي تضفي النسقية على الرياضيات، وتبتعد عن الأشياء ذاتها - النقاط والمسافات والإسقاطات.

على هذا النحو أغلق القرن التاسع عشر أبوابه، وثمة فيض وافر من النتائج الجديدة. أحيانا تكون عميقة، ويتصادف أن تكون لطيفة ظريفة. أعيد ترسيم الحدود بين الأنظمة، وكادت تختفي الفواصل بين أكثر الأنظمة مهابة. إن صميم طبيعة الرياضيات يتغير. وبعد أن كانت الرياضيات علما يمتلك موضوعات تقليدية للدراسة، أصبحت علم العلاقات الكلي؛ وبمغزى معين أصبحت علم البنيات التي يمكن أن تنشأ في أي علم. مثل هذه الخصوبة فرضت على الرياضيات أن تعيد ترتيب بيتها.

الرياضيات واللا نهاية

لقد استمرت العودة إلى الأصول، مثلما واصلت الرياضيات التوسع في البحث عن فتوحات جديدة؛ وظل كل من هذين النشاطين مغذيا للآخر. ولعل غير المتخصصين في مجال الرياضيات لا يدركون اليوم



تماما السبب في أن هذه المقاربة المزدوجة كانت ضرورية قطعا. ويصدق هذا خاصة عندما يتعلق الأمر بالإصرار على صحة الأصول وعموميتها، وهو ما يساء فهمه غالبا بالتركيز على جعل المنطق ملزما، بينما - على العكس تماما - كانت كل مرحلة من البحث استجابة لقضية ما دقيقة، ومحددة في أغلب الأحيان.

لنعد، على سبيل المثال، إلى السؤال عن نوع التحليل الذي يمكن، أو يجب اتباعه في بحث الدوال. كما رأينا، بعد الدوال التي يمكن حسابها بسهولة - وهي الأولى وفق الأهمية بالنسبة إلى محللي القرن الثامن عشر - ظهرت دوال خاصة أخرى نُسبت إلى بيسيل Bessel أو ليجندر Legendre أو آخرين، ويمكن أن نجدها الآن في علوم الأرض، والكهربية والإلكترونيات، حيث إن فائدتها العلمية لا تقبل الجدل. وغالبا ما تعرف هذه الدوال بأنها مجموع متسلسلة لا نهائية. وهي الإمكانية التي حققها نيوتن بالفعل. إن أحد الإسهامات الأولى لرياضيات القرن التاسع عشر، والذي يعزى بصورة خاصة إلى كوشي Cauchy، كان تحديد متى يمكن استخدام مثل هذه الدوال في الواقع، أي تحديد الشروط التي تكون عندها مثل هذه المتسلسلات ذات مجموع محدد تماما، أو بلغة فنية تكون تقاربية. وهذا متطلب طبيعي مرتبط ارتباطا وثيقا بتعيين الخطأ الناشئ عن حساب هذه الدوال، وهو السؤال الذي لا يمكن لأي مستخدم أن يتجاهله.

تعتمد دالة ما على متغير يأخذ عادة أي قيمة عددية، لكن من غير الممكن طبعا حساب الدالة عندما يأخذ متغيرها قيما عديدة لا نهائية. والآن، إذا حُسبت الدالة لقيمة متغير معينة، كم يكون مقدار تغيرها المحتمل عندما يأخذ المتغير قيمة جديدة، قريبة جدا من القيمة السابقة؟ من الواضح أن الدوال التي يمكن استخدامها في حسابات عددية هي تلك التي تتغير بقيم صغيرة نتيجة التغيرات الصغيرة في قيم متغيراتها. وهذه هي الدوال المتصلة (التي يمكن تعريفها طبعا بلغة رياضية دقيقة).

كان ذلك هو الموقف حتى العام ١٨٠٧ ، عندما أدخل فورييه Fourier طريقة أخرى لتعريف الدوال المفيدة وحسابها. وكانت المتسلسلات التي درست حتى ذلك الحين تسمى متسلسلات القوى power series. وهذا يعني، على وجه التقريب، أن كثيرات الحدود اللا نهائية التي تكون معاملاتها ذات

رتبة أعلى تصبح كافية بسرعة صغيرة لأن تتقارب المتسلسلة (*). من ناحية أخرى، نجد متسلسلة فوريه (أو المتسلسلة المثلثية) هي حاصل جمع الجيوب وجيوب التمام التي تصبح تذبذباتها أقوى بصورة متزايدة. وأبسط مثال لهذه المتسلسلات ينتج من تحلل صوت آلة موسيقية إلى توافقياتها المتنوعة (**) مما يبين أن فكرة فوريه لم تكن مجرد حب استطلاع أو فضول غير جدير بالاهتمام، بل كانت أداة لا يمكن للفيزياء أن تعمل من دونها. إن متسلسلات فوريه وتعميماتها تعمُّ حاليا جميع المجالات التقنية والعلمية، وتستخدم المُعالجات الدقيقة (الميكرونية) استخداما روتينيا لحسابها بسرعة عالية من خلال مُركبات معينة في الروبوت.

إلا أنه من غير المعروف تماما أن أفكار كانتور Cantor الشهيرة عن اللا نهاية قد برزت نتيجة لمشكلة عصيّة الحل في متسلسلة فوريه، وإن كانت أيضا بالغة القيمة. في العام ١٨٣٠ استخدم بولزانو Bolzano متسلسلة من هذا النوع لبناء دالة متصلة ليست لها مشتقة عند نقاط عديدة لا نهائية لفترة ما (***). لقد لمعت ومضة تحذيرية، حيث إنه دائما ما يفترض بالحدس أن أي دالة كانت مُعرَّفة صراحة، ولو فقط بمتسلسلة، يكون لها مشتقة. إلا أن نتيجة بولزانو تعني الآن أن المشتقات، هي أدوات ذات فائدة عظمى في الرياضيات والفيزياء على السواء، لا يمكن ضمان صحتها أو حتمية حدوثها؛ إن مشتقة الدالة كانت مطلوبة في كل وقت (في سياق الحساب مثلا)، وعلى المرء أن يثبت أولا أنها وجدت.

الفيزيائيون لا يقدرون على تجاهل مثل هذه الغرائب، بالتعويل على حصانة الطبيعة لهذا النوع من الخلل (والحال ليست هكذا فعلا). بعض الفيزيائيين كانوا أيضا مرتابين، قال هيرميت Hermite مازحا بسخرية:

(*) تكون المتسلسلة اللانهائية تقاربية إذا آل مجموعها إلى نهاية، ومثال ذلك أن المتسلسلة $١ + \frac{١}{٢} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٨} + \frac{١}{٢}$ ... هي تقاربية لأن مجموعها يؤول إلى ٢ [المترجمان].

(**) المتسلسلة التوافقية هي سلسلة نغمات، النسب بين تردداتها كالنسب ١:٢:٣. والتوافقيات الموسيقية هي النغمات الموسيقية التي تصاحب النغمة الأساسية، وتكون تردداتها مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي... ولا يغيبن عن البال أن الموسيقى كانت في العصور القديمة أي: اليونانية والإسلامية والمسيحية، وحتى مجيء العصر الحديث فرعا من فروع الرياضيات [المترجمان].

(***) الفترة في الأعداد الحقيقية هي فئة كل الأعداد الحقيقية المحصورة بين عددين حقيقيين، وتكون الفترة مغلقة إذا احتوت على كل من العددين، بينما تكون مفتوحة إذا لم تشتمل على أيهما [المترجمان].



«عندما أصادف إحدى هذه الدوال المتصلة غير القابلة للاشتقاق فإني أعزف عنها بامتعاض». ولكن الحقيقة تمثلت في أنه إذا كان يجب على الأطباء أن يؤدوا القسم الأبقراطي، فإنه يجب على الرياضيين أن يحترموا قسما أوقليديا غير مكتوب يجبرهم على إثبات مبرهناتهم. لقد كانوا حينذاك مرغمين على منع هذا النوع من الحادثات بوضع الحواجز الضرورية. (كيف يتوهمون أن مثل هذا العمل سوف يؤدي بهم يوما ما إلى تطوير مفاهيم سوف تحتاج إليها الفيزياء ذاتها في نهاية المطاف؟ ولكن تلك قصة مختلفة).

هكذا وجد ديدكند وكانتور نفسيهما وجها لوجه أمام اللا نهاية. والحقيقة أننا نجد اللانهاية عمليا في كل مكان في الرياضيات. ففي اللحظة التي يجب أن تأخذ عندها حدا تكون اللا نهاية هنالك، حيث إن عدد الحدود يجب أن يؤول بالضرورة إلى ما لا نهاية إذا كان علينا أن نحصل على مجموع متسلسلة ما أو على تعريف تكامل ما. وعند التعامل مع النتائج يجب علينا أن نأخذ في الاعتبار حدودا من رتب أعلى . ولتعريف مشتقة ما يتطلب الأمر أخذ متغيرها بحيث تكون أقرب وأقرب بعضها إلى بعض. إن ترميز عدد حقيقي – كما عرفه أودكسس Eudoxas وأقليدس بأنه نتيجة قياس طول محدد أو أي كمية حقيقية محددة – يُرفع إلى ما لا نهاية بمجرد أن نقرر التعبير عنه رياضيا. (ولمعرفة هذا، تكفي ملاحظة آن عددا لا نهائيا من الأرقام يكون مطلوبا بوجه عام بعد العلامة العشرية). وقد فضل فيرشتراس Weierstrass وديدكند أن يريا عددا حقيقيا على أنه حد لتقريباته العشرية المتتابعة، لكن هذا الحد هو – مرة ثانية – ذروة لعملية لا نهائية غير محددة.

أما الهندسة فإنها لا تستطيع أن تتحاشى اللانهاية. فالفراغ الأقليدي لانهائي. والمطلوب أعداد حقيقية (تحمل معها اللا نهاية) للتعبير عن الإحداثيات. وفي كل جزء خطي، مهما كان صغيرا، توجد نقاط عديدة لانهائية (غير محددة).

يتلقى المرء بشيء من الحكمة النصح والإرشاد بأن يظل بعيدا من عالم الذين يروضون اللا نهاية. ويعتبر جورج كانتور (١٨٤٥ – ١٩١٨) في طليعة هؤلاء وأعظمهم على وجه اليقين. إن هذا العالم أشبه بالمعبد الذي ينبغي ولوجه والسير فيه برفق، كما تحظر فيه التقارير الجارفة مادامت بغير معنى.



لم تكن اللا نهاية جديدة، فالإغريق لديهم الأبيرون عند أنكسمندر (*)، وعدد لا يحصى من خطوات أخيل (**) في مفارقة زينون. إن لا تناهي الرب في كل صفاته كان أيضا موضع دراسة ونقاش خلال الدراسات والمساجلات التي دارت بين اللاهوتيين والفلاسفة في العصور الوسطى. إلا أن الموضوع، على غرابته - كما يبدو - ظل بكرا من الناحية الفعلية، لأن جميع مبررات الماضي كانت زائفة ومنغمسة في مغالطات لا يعرف أحد كيف يحلها. لقد تم إنجاز كل شيء، ما عدا إقرار نتيجة نهائية تقضي بأن الجنة التي استحدثها كانتور لنا، كما أسماها هيلبرت، لم تكن في حقيقة الأمر الجنة الوحيدة الممكنة. وكان من الضروري معرفة أن رياضيات اليوم، على إطلاقها، التي قد تكون مستغلقة لا سبيل إلى فهمها، أو تكون مصدر افتتان (لبعض الفلاسفة) أو مبعث رعب وامتعاض (لآخرين)، كانت الممكن الوحيد واقعيا. ومن هذه الحقيقة جزئيا سوف يأتي التشظي.



(*) أنكسمندر فيلسوف إغريقي من الفلاسفة الطبيعيين السابقين على سقراط، وقد عاش تقريبا بين عامي (٦١٠ - ٥٤٧ ق.م.) بملطية وهي أحد الثغور الإيونية بآسيا الصغرى. وبالتالي فهو من أقطاب المدرسة الملطية التي تسمى أيضا المدرسة الإيونية، وتعد أول مدرسة فلسفية في تاريخ الفلسفة الغربية. وكان شغلها الشاغل هو الإجابة عن السؤال: ما أصل الوجود؟ أو ما المادة الخام التي صُنع منها الوجود؟ عرض أنكسمندر فلسفته في كتابه «حول طبيعة الأشياء» الذي ضاع ولم يبق منه إلا شذرات متناثرة في كتب الفلاسفة والمؤرخين القدامى. وفي الإجابة عن السؤال المحوري بشأن الأصل أو المادة الخام، رفض أنكسمندر رأي أستاذه طاليس بأن يكون الماء هو الإجابة، ورأى أن أصل الوجود أو مادته الخام عنصر لا متعين لا محدد اسمه الأبيرون Apiron (A آو الألفا في اللغة الإغريقية تفيد النفي، وعليه نجد أن المعنى الحرفي لكلمة الأبيرون الإغريقية هي اللا متعين أو اللا محدود). مر كل هؤلاء علينا في التوطئة الرائعة [المترجمان].

(**) بطل العدو الإغريقي الشهير [المترجمان].

4

فلسفة المعرفة الكلاسيكية

ماذا يعني أن نفهم؟ كيف يكون الفهم ممكنا؟ سوف نتجه الآن إلى هذين السؤالين، وهما من أقدم وأهم الأسئلة في الفلسفة. طرحت إجابات عديدة عنهما، تبدأ من محاورة أفلاطون «ثياتيتوس»، لكن يسهل وضع الإجابات جميعا تحت مقولتين أساسيتين. وتبعا للمقولة الأولى، ثمة تمثل صادق وأمين للعالم عبر تصوراتنا الذهنية ولغتنا العادية. أما إجابات المقولة الثانية، فترى أن العالم يختلف اختلافا جوهريا عن إدراكنا إياه. والحق أن هذا هو التقابل بين أرسطو وأفلاطون، والذي وجد منذ بدايات الفلسفة.

وقف ميلاد العلم في صف الوضوح الذي يفترضه النوع الأول من الإجابات، وغرض هذا الفصل هو وضع تقرير موجز عن علاقته بالفلسفة إبان هذه الحقبة. مرة أخرى، سوف تنحصر مناقشاتنا في الوقائع المعينة التي ستفيدنا نواتجها.

«في هذا الكتاب لن نقطع الطريق الديكارتي بأسره، ومع هذا من الصواب تماما أن نقول إن فتغنشتين قد وضع نهايته»

المؤلف



فرنسيس بيكون والخبرة

يستحق فرنسيس بيكون F. Bacon (١٥٦١ - ١٦٢٦) أن نذكره أولا، لأنه كان فيلسوف المنهج التجريبي. لقد تطلع إلى علم جيد التكوين مترابط، ولعله مبتدع مراجعة الفلسفة من خلال العلم. والرأي عندي أن هذا كله أهم من أفكاره عن المنهج - التي كثيرا ما نختزل إسهامه فيها - وهو معروض في فاتحة كتابه «الإحياء العظيم Instauratio Magna»، الذي يشهد بحلم ملهم ونافذ.

يقترح بيكون أن نبني العلم أولا، أو بتعبيره أن نحيي العلم (نشيده من جديد، نعيد تأسيسه). «إني أهيب بالبشر إلى الإيمان بأن الأمر ليس رأيا نعتنقه، بل عمل ننجزه.... حاجة العلوم الملحة الآن إنما هي صورة من الاستقراء الذي سيقوم بتحليل الخبرة والاضطلاع بها جزءا جزءا.... إني أعمد إلى أن دائرة الحواس هي فقط التي تحكم على الخبرة... [إني أهيب بكم] إلى أن تتجملوا بالأمل ولا تتخيلوا أن هذا الإحياء الذي أتحدث عنه شيء لا متناه أو يفوق قدرة الإنسان، حيث إنه في الحق نهاية حقيقية وحد حاسم لخطأ لا ينتهي». إن «الخطأ» الذي يعزوه بيكون للفلسفة الإغريقية والمدرسية هو الفرار الفوري من الحواس والاضطلاع بالقضايا شديدة العمومية. لا شك في أن هذا [كان] طريق قصير قاصر (*)، لكنه مترد؛ وهو طريق لن يؤدي البتة إلى الطبيعة، على الرغم من أنه يمهد طريقا مواتيا وسلسا للجدال والنزاع».

سوف يكون إحياء العلم «بلا جدال مُعرِضا عن حدود البشر الفانين (لأنه ليس من المفترض إنجازه بأسره كاملا مكتملا في جيل واحد، فلزاما على الجيل الآخر أن يواصل المسار)؛ وأخيرا لا يبحث عن العلوم بالمفهوم الضيق لغطرسة الفطنة البشرية، بل يبحث عنها توقيرا للعالم الأكبر».

فهل يمكن أن يتخيل المرء وصفا أفضل لمستقبل العلم، وتقريبا في اللحظة نفسها حين كان غاليليو بصدد وضع تلك المبادئ عينها موضع التنفيذ والممارسة الفعلية؟ إذا كان عليّ أن أفاضل بين الرجلين، فمن زاوية ما ربما وضعت عالم الفيزياء في منزلة أعلى من منزلة الفيلسوف، لأن غاليليو رأى «أن العلم مكتوب بلغة الرياضيات». ينأى وضع بيكون كثيرا عن

(*) في هذه الفقرة بالذات: كل الأقواس الواردة عاليه، سواء من الشكل (...) أو [...] من وضع المؤلف ووردت هكذا في النص.... ولأن المؤلف وضع [كان] بين القوسين بهذا الشكل.. فلم نعمد إلى نصب خبرها [المترجمان].



حدود هذا التصور، وكان انتقاده لإمكانية بلوغ المعرفة بالوسائل المنطقية مسألة سلبية إلى أبعد الحدود، ولا شك أن هذا أتى من ردة الفعل العكسية ضد المدرسيين.

تضم مقدمة كتاب «الإحياء العظيم» فقرة لافحة لا أملك إلا اقتباسها: «والآن يقوم مخططي على أن نسير بانتظام وبالتدريج من بديهية إلى أخرى، بحيث لا نصل إلى أعم البديهيات إلا في النهاية؛ ولكن حين نصل إليها لن نجدها أفكارا خاوية، بل أفكار مُحددة تحديدا جيدا، وبهذه الطريقة نعرف الطبيعة ذاتها معرفة حقيقية مثلما عرفنا مبادئها، ومثلما تكمن هذه المبادئ في لب الأشياء ولبابها».

وسوف أتذرع بشيء من الحرية وأثبت هاهنا جملة اعتراضية شخصية. فواحد من أعز أحلامي - وهو أحد الدوافع التي أدت إلى هذا الكتاب - هو أن يأتي يوم ما نرى فيه المعرفة العلمية مشيدة بشكل واضح بحيث تتيح عودة الفلسفة في أصولها ما قبل السقراطية، لتجد في العلم أسسها الخاصة بها والقالب الأكثر ملاءمة لها. وبين الحين والآخر أرى أن هذا اليوم قد أتى. وعلى أي حال، ثمة ميل غريب إلى أن نقرأ ما نتوقع أن نقرأه، بدلا من أن نقرأ ما يريد المؤلف أن يقوله (وهو نزوع عمد بول فاليري إلى تحليله تحليلا مستفيضا)، ونظرا إلى هذا النزوع الغريب فقد ألح عليَّ ذات مرة اعتقاد أنني وجدت أسطع تعبير عن فكرتي في الاقتباس الأخير المأخوذ من بيكون. ومادمت أرغب دائما في أن أعرف من الذي يجب أن أعترف بفضله (من الشائع أن نحتمي بمظلة كبيرة!) فإني أعزو الفضل إلى بيكون، وقد قلت هذا (بشيء من الرعونة) في محاضراتي. وكان علي أن أغير رأيي بعد قراءتي الثانية لكتاب «الإحياء العظيم»، لأن الفكرة لم تعاود الظهور بشكل واضح في أي مكان آخر، لعل كل ما في الأمر أن بيكون كان حذرا، واهتم بألا يناقض المواعظ التي يدلي بها فيقفز إلى نتائج فجة. وعلى الرغم من غياب التأكيدات، وفقط في حالة ما إذا كان حدسي الأول صائبا، فإن أحب أن أنسب الفكرة إليه، لأنك إذا رغبت في شخص آخر نعطيه هذا الشرف فسوف ننتظر طويلا ريثما يأتي هوسرل.



ديكارت والعقل

بينما تمثل فلسفة بيكون التجريبية العلامة الدامغة لتطور العلم في بريطانيا العظمى، كانت الفلسفة العقلانية لرينيه ديكارت (١٥٩٦ - ١٦٥٠) هي السلطة المبجلة في القارة الأوروبية.

يختلف ديكارت عن بيكون في نقطة جوهرية: دون إنكار الدور الملح للملاحظة، فإنه يزعم أن الأساس الأولي للبحث العلمي هو العقل الاستنباطي. وقد امتلك ديكارت بوصفه عالما هندسيا دليلا قشيبا على هذا، على أن الفلسفة بأسرها هي ما يقصد إلى إقامته الآن على أساس العقل البشري، الذي هو الأساس الوحيد الآمن لفهم الطبيعة وفهم الإنسانية.

إن الطريق العظيم للفكر الذي يبدأ بالعبارة الشهيرة: «أنا أفكر، إذن أنا موجود» لهو تصديق على مبدأ بالغ الوضوح: الفكر يسبق الوجود، والتأمل الذي يستخدم هذا الفكر، وبالفكر ذاته، يمنحنا المنهج المؤدي إلى الفهم الكامل. العقل نقطة البدء، وهو يفوق في هذا الطبيعة ذاتها.

السبب الذي يجعلنا لا بد أن نذكر ديكارت هنا هو أنه يرفع راية العقل عاليا أكثر من أي شخص آخر، كانت راية العقل خفاقة، حتى أن شكه الشهير مجرد حيلة. والرب الذي يزعم ديكارت أننا لن نلاقيه إلا في أواخر كتابه، حاضر تمام الحضور في الكوغيتو، ويتبوأ عرش العقل الجديد به سبحانه. فهل العقل أو المنطق، أيما تسميهما، هما دائما أقوى خدامنا الملغزين - أم أنهما سادتنا؟

في هذا الكتاب لن نقطع الطريق الديكارتي بأسره، ومع هذا من الصواب تماما القول إن فتغنشتين (الذي أتى بعد سنوات عديدة مديدة ليقطع هذا الطريق نفسه) قد وضع نهايته. بمزيد من التفصيل يفحص فتغنشتين في عمله «ملاحظات فلسفية» نشأة اللغة وتطورها، إنها أداة العقل وشرطه الأولي. ولم نذكر إلا مثالا شهيرا. بناء مشيد لبنة لبنة، ويتعلم المساعد كيفية تسمية كل لبنة وأدوات المقايضة. في كل مرة يجب على المتمرس في الصنعة أن يشير إلى الشيء ويقول «هو ذا». ويحاجج فتغنشتين بأنه لا توجد وسيلة أخرى لتسمية الأشياء. وهكذا، لا يمكن أن تبدأ الفلسفة من العقل وحده، لأن العقل يحتاج إلى اللغة، واللغة بدورها لا تصبح ذات معنى إلا من خلال الارتباط المباشر بالواقع. إذا ظل سر العقل - ومن الواضح أنه شرط أولي



للعلم - سليما، يمكننا أن نبحث عن أصوله فقط في الاطرادات التي يعرضها الواقع. وهكذا فاضت روح طريق الكوغيتو؛ ومن دون نظرة واحدة إلى الوراء، إن لم نقل من دون ذرة أسف نستطيع اليوم أن نضع سك ختامه، على الرغم من تأثيره على تاريخ الفلسفة.

ثمة وجه آخر من وجوه الفكر الديكارتي معروف جيدا، وهو الإجراء المعروض في كتابه «خطاب في المنهج Discourse de la méthode»، ومعروض بشكل أوضح في كتابه «قواعد لهداية العقل Règles pour la direction de l'esprit». وهو يقوم على تحليل المشكلة إلى مشكلات أخرى أبسط، فتتضاءل الصعوبة حتى ينبلج الحل الواضح. ولعله منهج مفيد لهداية العقل حين يتأمل مشكلات الحياة اليومية العادية. بيد أنه من الناحية العملية عديم الجدوى كسلاح لغزو التساؤلات الكبرى حول وجودنا. مثل هذه التساؤلات تأبى التحليل إلى عناصرها، والإجابات البسيطة عنها، إن كانت فيها بساطة، أقرب إلى أن تكون مبحثا جديدا كأحرى من أن تكون محصلة نهائية.

لقد ذكرنا الآن أن ديكارت ينظر إلى المادة على أنها أساسا امتداد، أو بعبارة أخرى نقول إن الفيزياء عنده ترتد إلى الهندسة. وربما يحاول أحد أن يرى في موقف ديكارت رؤية استباقية لمفهوم آينشتين عن المادة، بيد أنه أقرب إلى أن يكون مثالا على الفشل المدوي للمنهج الديكارتي: اشتق ديكارت (باستخدام منهجه) عشر قضايا تتعلق بالتصادم، واحدة منها فقط صحيحة. بتعبير بيكون، أراد ديكارت القفز إلى نتائج نهائية في مسألة كانت جامحة وفجة في آن واحد. إن السؤال عن المنهج العلمي أكثر دهاء، وسوف نعود إليه في ما بعد.

لا أحد ينكر أن ديكارت ترك بصماته علينا جميعا، ولو حتى بمجرد التصور الميكانيكي للواقع، حيث نرى العالم الفيزيقي وظواهره كآلة ميكانيكية بأجزائها الشتى - حتى لو كانت هذه الصياغة ها هنا مجددا، صياغة جامحة. وأيضا ندين لديكارت، وبالمثل لغاليليو، بفكرة مفادها أن الطبيعة محكومة بقوانين لها الصورة الرياضية - وهي فكرة لزجة غريبة طويلا ما هيمنت على العلماء ولم يفكروا أبدا في بحث حدودها. وهذا هو ما أطلق عليه هيدغر اسم «المشروع الديكارتي»: ترييض الفكر. وسوف نعتبره أهم ميراث خلفه ديكارت وسوف تتاح لنا الفرصة كثيرا للعود إليه.



وأخيرا لا نستطيع أن نذكر النسب الديكارتي من دون أن نهيب بسبينوزا العظيم على الأقل. إنه يبز الجميع كفيلسوف الترابط والتساوق، والعالم في عصرنا هذا يرتاح أكثر في الشراكة معه. لعله أرهص، بأكثر من طريقة، بما ستكون عليه الفلسفة يوما ما، بل وامتاز في هذا؛ إنه اليوم الذي لن تعود فيه الفلسفة قائمة على العقل وحده - هذا المعين الواهي الهش - بل قائمة على معرفة أوسع بالطبيعة الطابعة natura naturans وبالطبيعة المطبوعة natura naturata: العقل والواقع.

لوك والمذهب الإمبيريقي

لا يوجد كتاب قراءته ممتعة ومقنعة أكثر من كتاب «مقال في الفهم البشري»، الذي نشره جون لوك (١٦٣٢- ١٧٠٤) J. Locke في العام ١٦٩٠ . يبدو كل شيء فيه واضحا يتدفق بسلاسة. ليصلك في لغة واضحة متألقة. من السهل أن يساء فهم الكتاب إن تصورناه التطبيق الأكثر إقناعا للمنهج الديكارتي، إن لم يكن الهدف الجزئي للكتاب وهو معارضة هذا المنهج.

أطروحة لوك بسيطة: العالم المحيط بنا هو الذي يمنحنا الوسيلة لكي نفكر ونتحدث. يقول لوك، إننا جميعا نعلم ماذا تكونه فكرة ما؛ حين تكون هذه الفكرة حصيلة مخيلة أو تصور مشترك بين البشر أجمعين. لا فكرة من أفكارنا أو مبادئنا يمكن أن تكون فطرية، لأنها لو كانت هكذا لامتلكها الطفل الصغير حديث الولادة. ولكن الأطفال الصغار، كما يقول لوك، لا يدركون أن الشيء يستحيل أن يكون ولا يكون في آن واحد (أي أنهم يجهلون قاعدة الوسط الممتنع الأرسطية).

وهذه الفقرة التي رد عليها مفكرون آخرون شائقة للغاية. لأن هذه هي أول مرة يجاهر فيها فيلسوف بأنه تعلم شيئا ما من ملاحظة الأطفال. إن الإبستمولوجيا التكوينية، أي الدراسة النظامية لتشكل المفاهيم عند الأطفال الصغار التي استهلها في القرن العشرين جان بياجيه، تؤكد حدس لوك من أكثر من زاوية: كل الأفكار إما أن تأتي من الحواس الخمس أو من الوعي التأملي. إن الأشياء العينية التي تدركها حواسنا هي القابعة في أصل أفكارنا، أي في حضور التصورات الأمينة لها، داخلنا. الأفكار الأخرى، الأكثر عمومية، هي نتيجة للتأمل، للعمليات التي يقوم بها ذهننا على الأفكار الأخرى الأكثر مبدئية. «لا يكون للروح أفكار إلا بعد أن تشرع في الإدراك الحسي».



عند لوك، تراتب الأفكار يبدأ من الأفكار البسيطة وهي ليست دائما معطيات حسية، بل العناصر التي تكوِّن المعطيات الحسية – فكرة الثلج مثلا تنحل إلى أفكار أخرى، من قبيل فكرة الصلب وفكرة البارد. ويجب وضع تمييز بين الأفكار البسيطة التي ندركها عن طريق عضو حسي واحد، وبين الأفكار التي تربط بين المعطيات الآتية عبر عدة حواس. تلك الأفكار الأخيرة تضم المكان والامتداد والشكل والسكون والحركة. في المرحلة التالية، يستخرج الذهن التماثلات بين الأفكار البسيطة من خلال التأمل لكي يصل إلى التجريدات. في المرحلة الأخيرة، وهي مرحلة اللغة، توصف الأفكار التي تشكلت على هذا النحو عن طريق الكلمات، التي تقوم فقط بتحديد الخصائص المشتركة للأشياء التي ندركها. وهكذا يبدو كل شيء واضحا جليا: أن تفهم هو أن تنفتح نفسك على العالم، و تتشكل في الذهن تمثلات العالم، وعنها تنشأ اللغة وينشأ العقل. أوليس هذا واضحا؟

استطراد: العلوم المعرفية

إن الدهاء، أو الصعوبة، في مقاربة لوك تتجلى في ترتيبه الهرمي للأفكار. تعرضت هذه النقطة لسيل جارف من النقد، بيد أن العلم اليوم يؤكد أهميتها تمام التأكيد. قد يدهشنا مثال فكرة الثلج التي تنحل إلى فكرة الصلب وفكرة البارد، لأنه ينطوي على أن إدراك حواسنا للعالم الخارجي هو ربط حصيف بين ملامح مصطفاة مسبقا، كأحرى من أن تكون صورة كونية أمينة لما يحيط بنا. وإنه لمن الجدير حقا أن نؤكد على هذه النقطة، مادام السؤال حول التمثل البشري التلقائي للعالم مواتيا لحجتنا الرئيسية: في مواضع لاحقة سوف نقابل بين التمثل الصوري والتمثل المرئي، وبالتالي يكون من الملائم تماما أن نعرف ما هو التمثل المرئي فعليا.

ومن أجل هذا الغرض، سوف نشير إلى المعرفة الراهنة في علوم المخ، التي تقدمت تقدما مذهلا. منذ ما يقرب من عقد مضى، تقاربت الجهود الحثيثة والتقت معا، وذلك حين قامت أنظمة دراسية عديدة، كانت حتى ذلك الحين مستقلة عن بعضها، تشاركت جميعها معا، لكي تشكل العلوم المعرفية cognitive sciences: تشريح المخ والفسيولوجيا العصبية وبيولوجيا الهرمونات وعلم النفس التجريبي. أسهم في تطور العلوم المعرفية عدد جم



من الدراسات، على الإنسان وعلى الحيوان كليهما، ومعتمدة على تجارب علم النفس أو الملاحظات الإكلينيكية للمرضى الذين يعانون من أعطاب في المخ. كانت تقنيات الملاحظة المستخدمة فعالة: مثلا آلة التصوير البوزيترونية، التي تُمكّن العلماء من «رؤية» دورة الدم في المخ؛ ومساحات الرنين النووي المغناطيسي، القادرة على تتبع دورة ذرات معينة. وبطبيعة الحال استخدموا تقنيات الحساب والإحصاء من أجل تحليل المعطيات، ولكن علوم الكومبيوتر تدخلت في مناح عديدة لطرح نموذج للعمليات الذهنية. لقد انفتح مجال للمعرفة جديد بالكلية، ينمو ويتطور سريعا، ويموج الآن بنتائجه المذهلة.

من المعروف منذ أبيقور أن الإدراك الحسي له بالضرورة دور مركزي في أسس فلسفة المعرفة. ومن المؤكد تماما أن دراسة الإدراك الحسي تكشف عن تعقيده الغريب. ولنأخذ الرؤية التي هي مثال جيد. فقد ساد الاعتقاد طويلا بأن الصورة البصرية هي تقريبا صورة فوتوغرافية، تتشكل على الشبكية وترسل كما هي إلى المخ، حيث يقوم بتحليلها. بهذه الطريقة ستكون مرحلة الإدراك الحسي ومرحلة الفهم منفصلتين انفصالا دقيقا، ولكن لا يبدو الأمر بمثل هذه البساطة. إن الشبكية أنسجة عصبية على تعقيد عظيم، وهي التي تقوم بتنفيذ التحليل المفصل للصور الواردة. بعض النطاقات العصبية المتخصصة تتعرف على ما إذا كانت الصورة تحوي خطوطا رأسية، قطاعات أخرى تتعرف على الخطوط الأفقية؛ وتبقى نطاقات عصبية أخرى لتمييز الألوان وشدة الضوء، أو وجود حركة. وهكذا تنقسم الصورة لحظيا إلى مكونات عديدة، لا بد أن يقوم المخ بإعادة تجميعها لكي يعيد تشييد الشيء المرئي.

وأيضا توجد في الشبكية شبكة عمل معقدة من الموصلات الداخلية، وبفضلها يكون من الممكن تسجيل ونقل معلومات أكثر تنقيحا عن علاقات داخل الصورة: التماثل و أيضا الاختلاف، بين الأشياء المدركة؛ ووجود الأشياء المتحركة؛ والأهم من كل هذا السر الأكبر الذي لم ينفض بعد: معرفة النماذج النمطية.

ثمة اتصال من الشبكية إلى المخ، مادامت الشبكية جزء منه. وأيضا نعرف الكثير عن مساحات مختلفة داخل المخ تدرك مكونات الصورة. وثمة أربع مساحات منها، يتصل بعضها ببعض، وتتفاعل مع الخصائص

المختلفة للصورة: الحركة واللون والشكل. هذا المكون الأخير يمثل معلومات بالغة الثراء والتعقيد حتى أن معالجتها تتطلب منطقتين من مناطق المخ.

بل إن تركيب الإدراك الحسي المتكامل يتطلب نطاقات أكبر من المخ. وتلك النطاقات التي تكون فعالة في لحظة معطاة يمكن ملاحظتها بشكل مباشر بمساعدة آلة التصوير البوزيترونية. ترينا آلة التصوير تلك أي الأجزاء في المخ هي التي تنشط، وذلك عن طريق إظهار تدفق الدم فيها. ويمكن في دراسة الرؤية البصرية أن نربط بين هذه المعطيات وبين الشيء المرئي عن طريق تتبع حركة العين بآلة تصوير الفيديو. أجريت تجارب من هذا النوع على الحيوانات عن طريق زرع أقطاب في أدمغتها متصلة بالمخ مباشرة لتستقبل الإشارات العصبية. بينت هذه التقنية كيف تتفاعل أجزاء مختلفة من المخ، اعتمادا على خصائص المشهد المطروح أمام العيون الخاضعة للدراسة: تأثيرات الحركة والتغير في الصورة ومثول الأشكال القابلة للإدراك المعرفي وما إليه. تقع إحداثيات هذه العملية في الفصوص اللحائية الأمامية حيث موضع الذاكرة قصيرة المدى التي تستطيع أن تميز، مثلا، حضور عنصر جديد في مشهد يختلف في أنه ثابت. وأيضا من هذا النطاق تُرسل أوامر تحريك أجزاء الجسم المختلفة: حركات العين أو اليد أو الفم. وعلى هذا تكون الفصوص اللحائية الأمامية قادرة على التحكم في الانتباه وردود الأفعال الناجمة عنه.

وعلى هذا النحو يتبدى الإدراك الحسي بوصفه عملية بالغة التعقيد، حيث يتفكك العالم الخارجي في مبدأ الأمر إلى سمات عديدة، قبل أن يتم تفهم معناه. هذه الخاصة التحليلية لإدراك الحسي، والتي تبدأ بتفكيك الصورة قبل أن نشرع في تركيبها، قد فرضت نفسها إبان العقود الأخيرة، ولم يعد في مقدور الفلسفة تجاهلها.

إن هذا الاستطراد الطويل مفيد، على الأقل في التأكيد على نقطة كان لوك قد لاحظها بالفعل، وتبدو الآن إلى حد ما أكثر إقناعا: إدراكنا الحسي، حتى لو كان صادرا عن العالم الخارجي، إنما هو إعادة تركيب. إن الإدراكات الحسية أبعد ما تكون عن الوضوح أو البساطة. وحينما يصحبنا العلم في خضم أشياء غير عادية البتة تحيط بنا من كل صوب وحدب، مثلا في خضم

الإلكترونات أو الكون ككل، تغدو الإدراكات الحسية مثيرة للجدل. وعلى هذا قد يندهش المرء حول ما إذا كان الوضوح هو، قبل كل شيء، ليس مسألة اعتياد وألفة، وخارج نطاق تلك المحيطات المألوفة، ليس الوضوح مجرد سمة.

برغماتية هيوم

من الناحية الفلسفية، يعد ديفيد هيوم (١٧١١- ١٧٧٦) D. Hume سليلا لجون لوك بشكل مباشر. لقد اختزل المعرفة بأسرها في ناتج للخبرة، بل فاق سلفه في رفضه الجذري لأي تساؤل يتجاوز حدود الخبرة. وبشكل خاص، نجده ترك تأثيرا في معاصريه ومثّل معلما من معالم تاريخ الفلسفة، وذلك عن طريق رفضه القاطع لأي ميتافيزيقيات حتى أنه نفى وجود مبادئ خلقية عمومية، بل ووجود المفاهيم الخلقية من قبيل الحرية. ولا شك أن هذا الجانب من فلسفته هو الأكثر إثارة للجدل، ولكننا لن ننشغل به. لن نناقش إلا رؤية هيوم للفهم البشري ولطبيعة العلم.

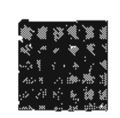
ظهر كتابه «بحث في الفهم البشري Inquiry Concerning Human Understanding» العام ١٧٤٨، كإكمال وإتمام لكتابه «رسالة في الطبيعة البشرية Treatise of Human Nature» (١٧٣٧) الذي دونه إبان سنوات الشباب. يتضمن «بحث في الفهم البشري» أوضح صياغة لفلسفته البرغماتية - والأكثر حسما من الناحية العملية - وهي صياغة ينتشر أتباعها حتى يومنا هذا انتشارا واسعا في الأوساط العلمية. ولنستمع إلى هيوم نفسه وهو يجمل دعواه الأساسية: «ولكن على الرغم من أن تفكيرنا يبدو وكأنه يستمتع بحرية لا حدود لها، فحين فحصه عن كثب، [يكتشف المرء] أن التفكير محصور داخل حدود ضيقة جدا، وأن كل هاتيك القوة الإبداعية للعقل لا تكشف إلا عن ملكة لاستحضار المادة المعطاة لنا عن طريق الحواس والخبرة، أو لنقلها، أو للإكثار أو الإقلال منها». إذن الوظيفة الوحيدة لعقلنا هي استثمار الوقائع. ليس يضيف التفكير أي شيء لجوهر المعارف التي تعطينا إياها الوقائع. وهكذا تغدو معظم تصورات الفلسفة التأملية غير ذات معنى، كما يبين مثل هذا الاختبار البسيط. والحق أن هذا يكفي تماما لكي نطرح سؤالنا: ما هو الانطباع الحسي الذي أعطانا الفكرة المعنية؟ وإذا لم نستطع الإجابة عن هذا السؤال فإننا نتحدث عن تصورٍ خَلوٍ من أي معنى.



ويعقب هذا شيء ما أقرب إلى مجال مناقشتنا: إن القوانين التي يكتشفها العلم عن طريق الخبرة لا تعدو أن تكون كشفا عن اقترانات معتادة بين الوقائع (وبهذا يكون التعود هو المرشد الأعظم في الحياة البشرية والفهم البشري). ليست القوانين العلمية إلا تلخيصا للوقائع الملاحظة. وبهذا تكون الوقائع هي مصدر تمثلنا للعالم، ومصدر خبرتنا، وهذا ممكن لأن الوقائع تتسم باطراد يتيح الاستفادة من قوى العقل وإمكانيات اللغة. أفضل وصف لهذا الاطراد هو تلك القوانين التي يصوغها العلم، على أن هذه القوانين لا تتجاوز قيد أنملة التلخيص القح للوقائع.

في خواتيم هذه الممارسة التطهرية، التي يرتد فيها العقل إلى نسخة عرجاء من العالم، يدهشنا أن نجد هيوم يقدم بلا أي نذير على نقض القواعد التي أرساها لنفسه، ويغدو على حين غرة ميتافيزيقيا متطرفا. على الأقل هذا هو تأويلي، إذا ما كانت الميتافيزيقا تكمن في الحكم بما يجب أن يكون عليه العالم، بدلا من قبول ما هو عليه. من المؤكد أن هيوم يقر بوجود ارتباطات بين الوقائع، تكشف عنها القوانين، بيد أنه يزعم عن يقين مطلق أنه لمن المستحيل، ومما لا يمكن تصوره، أن نتعلم أي شيء إضافي في هذا الصدد. يدين هيوم منطقنا بأنه عديم الجدوى قطعا، ليست استدلالاته إلا تعودا نشأ عن محاكاة ممسوخة للوقائع التي تتكرر بلا نهاية.

يتسم هذا الجانب من فكر هيوم بالأهمية البالغة، وقُدّر له أن يغدو في مقدمة المواطن الرمضاء حقا في فلسفة المعرفة. لقد أفصح هيوم عن كم معتبر من التساؤلات الجامحة التي تظل إلى أبد الآبدين غير قابلة للحل، وهي أسئلة تتطرق إلى المجال الفريد للعلم: لماذا ترتبط الوقائع وفقا لتلك النماذج المتسقة التي تكشف عنها الخبرة؟ كيف يتأتى لقوانين طبيعية، من قبيل قوانين الميكانيكا النيوتنية، أن تتيح لنا التنبؤ بنتائج تجارب لم تحدث أبدا، ومن أين أتت هذه القوة التنبئية للعلم؟ يرفض هيوم كل هذه الأسئلة بوصفها تتجاوز حدود كل ما يمكن أن نأمل في معرفته. ثمة واقعة مفادها أننا نستطيع في بعض الأحيان أن نتجاوز هذه الحدود، والاكتشاف التدريجي لهذه الواقعة سوف يشكل المجال الحقيقي لفلسفة المعرفة في عصرنا الراهن، وهذا ما سنحاول أن نبينه.



كانط

إن عالم بيولوجيا الأعصاب الشهير جان ديديه فنسنت Jean Didier Vincent، في كتابه بيولوجيا الإحساس Biologie des passion [*]، يتعجب من الطابع الفائق الاستثنائي لملاحظات سبينوزا حول صنائع العقل البشري، وهي ملاحظات تكاد في بعض الأحيان تتفق تماما مع أحدث وأبلغ نتائج علوم الأعصاب. يمكن أن تنطبق ملحوظة فنسنت أيضا على بعض من أهم فلاسفة التنوير والسابقين عليهم، وقد كانوا بلا مراء علماء نفس على درجة عالية من الحذق والمهارة. يدخل في زمرة هؤلاء ديكارت (في كتابه «التأملات») ومالبرانش - وبالمثل لوك وهيوم، وهذا أوضح من أن يقال. أما ونحن معنيون بكانط، فيبدو أن هذا يتطلب أكثر من مجرد الإقرار الصريح بهذا، نقصد على وجه التحديد أن إسهام كانط الرئيسي في نظرية المعرفة حريٌّ به أن يُعتبر علم نفس بحتا. يقف إيمانويل كانط (١٧٢٤ - ١٨٠٤) في مصاف أهم الفلاسفة الذين وطئوا البسيطة، حتى إن أخذنا في الاعتبار عمقه ودقته الفائقة فقط. وعلى الرغم من أن كانط قد تأثر تأثرا عميقا بلوك وهيوم، فإنه لم يستطع تقبل نبذ هيوم لأي بحث أبعد لأصول قوانين الطبيعة. بالنسبة إلى كانط، كان هذا السؤال إشكالا ميتافيزيقيا، أو هكذا أسماه. وقد عبر عن هذا تعبيرا جميلا في الجمل الأولى من كتابه «نقد العقل الخالص» التي اكتسبت شهرة ذائعة، حيث يقول: «كُتب على عقلنا هذا المصير المتعين، فحين نأخذ في اعتبارنا مستوى معينا من المعرفة، نجد عقلنا منشغلا دائما بتساؤلات لا يمكن تجاهلها، لأنها تنشأ عن صميم طبيعة العقل، وهي أسئلة لا يمكن الإجابة عنها، لأنها تعلو على قوى العقل البشري».

ولكن ما العقل؟ قليلا ما يسعفنا تعريف كانط، ومفاده أن العقل هو الملكة التي ينجم عنها الوحدة في خضم قواعد الفهم وفقا للمبادئ. وهو تعريف لا يتأتى إلا في أعقاب تركيب طويل المدى، لكي يكون صحيحا يستلزم القبول الكامل للفروض الأساسية في كتاب «نقد العقل الخالص». أما مغزى العقل في العلوم المعرفية الحديثة فالأحرى أن يقيم اعتبارا لفكرتين بسيطتين لكنهما أساسيتان وكانتا لاتزالان غائبتين عن أفق القرن الثامن عشر: ذلك أن

(*) Paris: Odile Jacob, 1986.



التفكير يحدث في المخ، وأن الجنس البشري قد اكتسب العقل، والمنطق على وجه الخصوص، وعمل على تطويره من خلال عملية تاريخية طويلة ممتدة. إن العقل به مكون اجتماعي قوي، يتضمن التواصل والثقافة.

لا يشير كانط إلى المخ، وبالقطع كان على صواب في أن يفعل هذا، لأنه لم يكن لديه إلا تلك المعارف القليلة عن المخ التي كانت متاحة في عصره. ومع هذا قد نتفق في عجالة ضرورية على تأويل كانط المتعلق بالمخ، حتى لو كان تأويلا اختزاليا رديا. فعلى أبسط الفروض، يضفي هذا التأويل شيئا من الوضوح على التمييز الذي طرحه كانط بين نوعين من المعرفة: البعدية والقبلية. من السهل أن نفهم المعرفة البعدية مادامت تعني كل شيء نخرج به من الحدس التجريبي empirical intuition (وقطعا الكلمة الألمانية التي استخدمها كانط Anschauung هي الأدق) (*). إن كانط معني أساسا بشيء ما يوجد قبل أن يمكن حدوث أي حدس. وسوف يكون الطريق الملائم لتأويل هذا المعطى الأولي أن ننظر إليه بوصفه لا يعدو أن يكون إطارا للمخ ووظائف يؤديها.

إن التأكيد على طبيعة الظواهر [phenomena الفينومينا] لجانب جوهري من جوانب المقاربة الكانطية. والظاهرة هي «الموضوع غير المحدد لحدس من الحدوس التجريبية،» شيء ما قد يكون الأحرى أن نحاول تعريفه بوصفه حالة المخ حين ينتبه إلى شيء خارجي أو لعملية جسدية داخلية. إن فهمنا الراهن للإدراك الحسي يتفق مع الحاجة إلى تمييز بين الأشياء الحقيقية وبين تمثلاتها عن طريق الإدراك، أو التمييز بين الواقع وبين «الظواهر». على أي حال، لا نستطيع تجاوز حقيقة مفادها أن مخنا

(*) الحدس intuition هو المعرفة الفورية المباشرة، آي التي لم نصل إليها عبر استدلال أو عبر تفكير مرحلي يمر بخطوات، لذلك يكثر استعمالها للإشارة إلى الإدراك الذهني أو الوجداني الخالص، وكانط يريد الإشارة إلى المدركات الحسية الفورية قبل أن تخضع لأي استدلال أو تفكير يمر بخطوات. فهي خامة لإدراكنا العالَم الخارجي، من هنا كانت إضافة صفة «التجريبية» للحدس، وكان مصطلح «الحدوس التجريبية» الأساسي في فلسفة كانط.
هذه الصيغة للمصطلح ليست سلسة تماما، فالأكثر شيوعا هو استخدام مصطلح الحدس للإشارة إلى المدركات الذهنية كما ذكرنا، آي المقابلة للمدركات التجريبية.. وكما ذكر المؤلف، نجد أن الكلمة الألمانية التي استعملها كانط هي Anschauungتعني معاينة أو رؤية، هذه الكلمة الألمانية هي الأدق طبعا، فالمعرفة البعدية، أي الآتية بعد الخبرة الحسية.. هي المعرفة بما نعاينه. وكما سبق أن أشار رسل في الجزء الثالث من كتابه «History of Western Philosophy» فإن الترجمات الإنجليزية لأعمال كانط وضعت كلمة intuition أي حدس كمقابلة لكلمة Anschauung وهي قد تكون مقبولة، لكن غير وافية تماما بالمراد من Anschauung. ونظرا إلى غلبة وشيوع اللغة الإنجليزية ساد في العروض العربية لفلسفة كانط المقابل للكلمة الإنجليزية أي حدس وحدوس تجريبية [المترجمان].



يطيع قوانين الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا. وإما أن نقبل فكرة كانط القائلة إننا لا نعرف إلا الظواهر [phenomena الفينومينا]، ثم نتبعه (وفي ما بعد نتبع هوسرل) سائرين عبر الطريق إلى الفلسفة الظاهراتية phenomenology، وإما أن يحدونا في صلب الإشكال الميتافيزيقي توق ملح إلى بحث أكثر عمقا لأغوار قوانين الطبيعة والوحدة المذهلة فيها (باستثناء أولئك الذين سوف يتبعون هيوم في إعراضه عن كل ميتافيزيقا).

يرى كانط أن هيئة الظاهرة يسودها «حكمان تركيبيان قبليان» أساسيان، وهما المكان والزمان. وهما قبليان لأنهما ينتميان إلى مجال العقل وليسا متوشجين في الأشياء التي نستطيع أن نلاحظها (أو على الأقل هذا هو ما قاله كانط). وهما «تركيبيان» على قدر ما هما متعلقان بتنظيم مختلف الظاهر أي بتركيبها. مثلا، العقل يضع الأشياء المختلفة بعضها بجوار بعض وليس يخلطها معا، وبالمثل تنتظم مختلف الأحداث في تتابعها عبر الزمان. إن حدسنا بالعالم الكائن خارجنا وداخلنا، وعينا به، مصبوب بالضرورة في هذين القالبين للزمان والمكان، ويفترض أنهما ليس لهما وجود واقعي حقيقي وخارجي.

إن حيثية الزمان والمكان عنصر جوهري في فلسفة كانط، وأيضا نموذج قياسي لكل أنماط الفكر. وقد أسرف كانط في جعل هذه النقطة بالغة الوضوح، وذلك في كتابه «مقدمة لكل ميتافيزيقا مقبلة يمكن أن تصير علما»، والذي كاد يكون طبعة شعبية من كتابه «نقد العقل الخالص، حيث يقول كانط: الفهم لا يشتق قوانينه (قبليا) من الطبيعة، بل يفرضها على الطبيعة». وكثيرا ما يعقد مؤلفو المراجع الدراسية الفلسفية مضاهاة بين هذا التغير الجذري في الإشارة إلى منشأ المعرفة، وبين الثورة الكوبرنيقية. لقد أحدث كانط هذا التغيير كاختراق للإشكال الميتافيزيقي عند هيوم: العقل كفؤ وكافٍ لتفسير وجود القوانين ووجود الاطرادات في العالم!

ولكي نقدر قيمة أفكار كانط في وقتنا الراهن، يهمنا أن نعقد مقارنة بين مقاربة كانط وبين بعض العلوم الصورية التي نشأت في تلك الآونة. على الفور توعز فكرتا الزمان والمكان بمقارنتهما بالنظرية النسبية. وقد نلاحظ في البداية أنه لا كانط ولا تابعوه قد استغلوا الإمكانيات الكامنة في فروضهم استغلالا كاملا. فقد سلموا تسليما أن الملاحظين المختلفين، الحدوس المختلفة، سوف يتفقون بالضرورة في أحكامهم التركيبية الأولية. قد يتبدى منزلق في الاستدلال



ها هنا؛ لأن مثل هذه المقارنة تنتمي إلى المجال التجريبي، حيث التحليل الترانسندنتالي (*) الأولي ينبغي أن يأخذ في اعتباره كل البدائل الشتى، أي الاتفاق أو الاختلاف المحتملين بين تمثلات الملاحظين المختلفين. وبهذا المعزى يمكن القول إن آينشتين قد سار بحجج كانط إلى ما هو أبعد؛ وبطريقة أكثر حذرا من كل ما سبقها. بعبارة أخرى، النظرية النسبية لا تنتهك مبادئ المقاربة الكانطية بشكل مباشر، كما لاحظ إرنست كاسيرر.

ولكي نكتشف الموضع الفعلي لهذا الصراع، علينا أن نلقي نظرة على صفحات لاحقة في كتاب «نقد العقل الخالص»، حيث نوقشت النقائض الشهيرة. إنها أربعة أزواج من الأطروحات المتناقضة، يقر كانط بأن العقل يظل إلى الأبد عاجزا عن فصل القول فيها. وقد طرح براهين هذه الدعوى مستخدما مناهج «ترنسندنتالية» (أي مبادئ العقل الخالص)، على الرغم من أن هذه «البراهين» ليست أثقل وزنا ولا أكثر إقناعا من براهين عديدة مطروحة في أعمال أرسطو. النقيضة الرابعة تتعلق بمسألة وجود الله، وتتعلق النقيضة الثالثة بالعلية؛ وبالتالي لا تتعلق أي منهما بما نناقشه الآن. ترتبط النقيضة الثانية ارتباطا مباشرا بالعلم، مادمت تزعم أنه لا يمكن فصل القول في ما إذا كان الجوهر المركب مكونا من أجزاء بسيطة أم لا. بعبارة أخرى، نقبل وجود الذرات كافتراض يمكن أن يمر بالخبرة الحسية، ولكن هذا أمر لا يمكن أبدا البرهنة عليه. وعلى الرغم مما قاله كاسيرر، يشعر المرء عند هذه النقطة بأن الحجة قد شابها شيء ما خطأ، على أننا لن نحاول أن نناقش ما هو هذا الخطأ ولا أين وقع.

في النقيضة الأولى، ثمة أطروحتان متقابلتان: تقر الأطروحة الأولى أن «العالم له بداية في الزمان، وأيضا محدود في المكان»، بينما تعلن الأطروحة الأخرى أن العالم ليس له بداية في الزمان، وليس له حدود مكانية، بل إنه لا متناهٍ في الزمان ولا متناهٍ في المكان». ويمكن مضاهاة هذا برأي غالبية علماء الكونيات المحدثين الذين يزعمون أن لديهم أسانيد وطيدة تشير إلى أن الكون له بداية، ويعتبرون أن تناهي الكون (أو الافتقار إلى هذا التناهي) يمكن من حيث المبدأ فصل القول فيه عن طريق القياس الدقيق لمعدل كثافة المادة في الفضاء. ويندهش المرء، فكيف يمكن لأولئك العلماء التمسك بأنهم طرحوا الحل لإشكالية رآها كانط غير قابلة للحل بتاتا. النقطة الجوهرية هي أن

(*) ترانسندنتالي *transcendental* أي متعالٍ، بمعنى أنه يعلو على التجربة، يسبقها ولا يشتق منها [المترجمان].

علماء الكونيات يعتمدون على مفهوم رياضي هو الزمكان - الزمان والمكان معا، برفقة بضعة قوانين فيزيائية يخضع لها هذا المفهوم - الذي يقع خارج نطاق الحدس تماما. ومادام هذا المفهوم لا ينتمي إلى نسق الظواهر عند كانط، فإنه لا يخضع لأحكام كانط (*).

لقد تبدلت الأوضاع ووصلت إلى أمر يجهله تماما كلٌّ من هيوم وكانط، ولا حيلة لهما في ذلك. وهو أن بعض العلوم يمكن أن تتناول حقائق لا هي خاضعة للحدس (أو كما أسماه كانط المعاينة أو الرؤية Anschauung: رؤية ما تتاح رؤيته فورا) ولا هي خاضعة للإدراك الحسي. ومن ثم كان وجود هذه العلوم «الصورية»، والذي سوف نفحصه لاحقا بمزيد من التفصيل، بالنسبة إلى الفلسفة مبحثا فلسفيا جوهريا (وإلماحا عبقريا). لا يستطيع كانط أن يقول لنا أي شيء يمكن أن يساعدنا على تفهم العلوم الصورية. على أنه يبلغ الذروة في أن يساعدنا، وأن نعتمد عليه حين نحاول أن نعين على وجه الدقة ما الذي جعل هذه العلوم صورية، متى وأين انفصلت عن التفكير الكلاسيكي وكيف امتد معها نطاقه. يقدم لنا كانط الذروة التي بلغها أسلوب التفكير الكلاسيكي، ذلك «العقل الخالص»، وقدم كانط أعمق تحليل عرفته البشرية على وجه الإطلاق في ما يتعلق بكل شيء حدسي. وعلى الرغم من أننا لا نستطيع أن نقبل إقراره بأن العقل يفرض قوانينه على الطبيعة، فإننا نستطيع أن نعول عليه تماما في تحديد ماهية التفكير الكلاسيكي: ينتج التفكير بشكل فريد عن حدس وعن رؤية وعن وضوح لا يكتسب السمة الصورية. إن كانط هو المفرد العلم الذي لا يُضاهى كمرجع نعود إليه من أجل تعريف وتحديد الكلاسيكية. لاسيما من منظور ما قدمه من علم نفس بصير بالوعي العقلاني. ولهذا السبب نعتبر عمله ذا قيمة استثنائية، على الرغم من أنه في البداية قد يبدو غير ملائم لنا ومثيرا للجدال، على أن مشروعيته تبدو الآن واضحة جلية.

ويتطرق تحليل كانط إلى جوانب أخرى من التفكير الكلاسيكي لها أهميتها. وتمدنا مقولات الفهم لديه. على وجه الخصوص، بمراجعة حذرة ومنهجية لأنماط التفكير (حين يعتزم العقل استخدام الحدس، والحدس فقط، كمصدر

(*) لكي نتفادى ما قد يبدو من تناقض بين ما نقوله هنا وما قيل سابقا (بشأن غياب أي تناقض بين نظرية النسبية وبين اعتبارات كانط) لا بد من التأكيد على أن مفهوم الزمكان [أو الزمان - المكان] في النسبية الخاصة مفهوم موات. ولكنه ليس ضروريا. إن الإجابات الكوزمولوجية [أي الخاصة بعلم الكونيات] بشأن النقيضة الأولى تعتمد على النظرية النسبية الخاصة بالجاذبية (أي نظرية النسبية العامة)، حيث نجد مفهوم الزمان - المكان مفهوما جوهرياً [المؤلف].



للمعارف). ومن بين المقولات الاثنتي عشرة، تستحق مقولتا الإثبات (الواقع) (*) reality والعلية اهتماما خاصا. قد يتجاوز المرء ما يكثر في الأدبيات المحدثة من مناقشات مستفيضة صعبة المراس لهذه المقولات، ويتجه فورا إلى كتاب كانط ليكتشف كيف تشتبك مقولتا الإثبات والعلية اشتباكا حميما مع التفكير الكلاسيكي. سوف يكون هذا ذا أهمية من أجل التقويم الكامل لغياب هاتين المقولتين في فيزياء الكوانتم. ربما نلاحظ أيضا أن مقولة كانط عن التلازم (**) (إذا كنتُ قد فهمتها فهما صحيحا) تتفق مع مناقشة ليبنتز للأشياء التي لا يمكن التمييز بينها: شيئان (جوهران) ينبغي وفقا للتفكير الكلاسيكي أن تكون ثمة دائما إمكانية للتمييز بينهما عن طريق سمة ما. وأيضا تتنازل فيزياء الكوانتم عن هذا التصور للتلازم في واحد من مبادئها الأولية جدا (مبدأ باوّلي).

من هذا التحليل القصير يمكن الخروج بنواتج عديدة. أهم ما فيها ذكرناه بالفعل ونحن نعرض لبيكون. إذا أخذنا في اعتبارنا أن العلم قد وصل بنا إلى مخططات أبعد كثيرا من كل ما تراءى لكانط، وأدركنا أيضا أن تلك الآونة لم تعرف أبدا عملا يضاهي في منهجيته كتاب كانط «نقد العقل الخالص»، فمن الواضح أن الحاجة إلى أساس جديد للفلسفة مسألة ملحة. وقد أعرب هوسرل عن هذا، ولكنه للأسف «تشريك» بميراث كانط الفينومينولوجي.

إن الفهم خاصة إنسانية - على الرغم من أن بعض الناس قد يرون أنماطا أخرى من الفهم تتمتع بها الآلات أو كائنات أخرى غير البشر. لا ينبغي ألبتة أن نترك دروس كانط السيكولوجية في الفهم البشري فريسة لأي محاولات للبحث عن أسس جديدة. وما دام كانط لم يأخذ المخ في اعتباره بشكل صريح، فما كان له أن يقدّر أن هناك دائما خبرة أسبق من كل فعل أولي للعقل - كل ما هو ترانسندنتالي.

(*) المقولات عند كانط تنقسم إلى مقولات الكم ومقولات الكيف ومقولات العلاقة - أو الإضافة - ومقولات الجهة. كل واحدة منها تتضمن ثلاث مقولات. أولى مقولات الكيف هي reality، وعادة ما تترجم مقولة الإثبات وليس ألبتة مقولة الحقيقة أو الواقع. فكما أشار الدكتور محمود زيدان (في كتابه: كنط وفلسفته النظرية، دار المعارف بمصر، ط ٢، ١٩٧٦ . هامش ص ١٢٨). «لا يقصد كانط أن يشير إلى واقع أي وجود بالمعنى الحسي أو الميتافيزيقي، وإنما بالمعنى المنطقي، أي إثبات تصور لشيء ما». ونحن نوافق تماما على هذا! لأن مقولات كانط - كما هو معروف - إبستمولوجية أي متعلقة بنظرية المعرفة. في مقابل مقولات أرسطو، التي هي أنطولوجية، أي متعلقة بنظرية الوجود. بيد أن مصطلح «الواقع» في مبناه ومعناه ودلالته ومضمونه، في اللغة العربية وفي الإنجليزية والفرنسية على السواء، هو صلب أصلاب هذا الكتاب، لذلك من الضروري وضع الـ «الواقع» كترجمة لها [المترجمان].

(**) التلازم inherence هو عدم القابلية للانفصال، كتلازم المادة والثقل، أو النار والحرارة. التلازم في مقولات كانط هو العرض الذي لا ينفصل عن الجوهر. بديهي أن الجوهر هو المقولة الأولى من مقولات العلاقة [المترجمان].



وفي مقابل هذا، نعلم أن هناك بنية أنطولوجية لكل مخ بشري منذ بواكير الطفولة، كما أن ثمة تاريخا مستمرا لتطور الجنس البشري. وها هنا يقع خطأ كانط، وعلة فشل محاولته البطولية لحل المشكلة المحورية التي أثارها هيوم.

هل يعني هذا أن علينا الانتظار ريثما نصل إلى فهم مكتمل للمخ البشري، حتى نستطيع وضع الأساس الحق للفلسفة، والذي لا ينبغي ألبتة أن يقل قيد أنملة عما طمح إليه كانط؟ ربما لا، إذا كنا لا نهدف إلى اكتمال مستحيل، ونضطلع باستئناف المهمة من حيث خلفها كانط. أننا في موقف أفضل كثيرا، لأن مبتغانا لم يعد حل مشكلة هيوم، بل أن نعرف كيف ولماذا تغاضى العلم عن هذا الإشكال الميتافيزيقي. وكما سوف نرى، ربما حدث هذا لأننا ينبغي ألا نبحث عن جذور المنطق، إن لم يكن، وعن جذور العقل، داخل بنية ذهننا وإنما خارجه، في الواقع الفيزيقي. وبطبيعة الحال ينطوي هذا على قلب كامل للمقاربة الكانطية.

والآن يجب أن تنتهي مراجعتنا الموجزة للفلسفة. وعلى الرغم من أنها تخطيطية إلى حد قد يكون غير مقبول، فإنها سوف تخدمنا كخلفية عامة لمداخلتنا، حتى ولو كان السبب الوحيد هو أن عقولنا لاتزال تتشرب بأفكار الماضي من خلال الثقافة والتعليم. وإذا كان لنا أن نتجاوزها، فسيجمل بنا أن نجعلها واضحة جلية. ومهما يكن الأمر، فإن هذه المراجعة على أبسط الفروض قد بينت لنا كيف أن فلسفة بناء المعرفة مسألة ملحة، وأيضا كم هي مسألة عسيرة.

بطبيعة الحال لا تنتهي القصة عند كانط. فهناك آخرون من علماء النفس العظام، أمثال نيتشه وفرويد، بيد أن مساعيهم لا تتعلق كثيرا بموضوعنا. هناك آخرون حاولوا بناء نظرية للمعرفة، نذكر منهم برتراند رسل Bertrand Russell (١٨٧٢ - ١٩٧٠) وألفرد نورث وايتهيد A.N. Whitehead (١٨٦١ - ١٩٤٧) ولودفيغ فتغنشتين L. Wittgenstein (١٨٨٩ - ١٩٥١) وإدموند هوسرل E. Husserl (١٨٥٩ - ١٩٣٨). ومما له مغزى أن ميلادهم جميعا جاء مبكرا جدا ومتأخرا جدا: جاء مبكرا جدا قبل أن يتاح لهم استكناه سائر تضمنات المكتشفات العلمية الحديثة - لاسيما قوانين عالم الكوانتم - ومتأخرا جدا فلا يحول دون الانهيار المفاجئ لرؤاهم الخاصة تحت وطأة الاستبصارات المستجدة. ومع الظروف التاريخية الطاحنة، قد يمكن القول إن نيلز بور N. Bohr هو أعظم فيلسوف في عصرنا هذا، لكن ربما يكون من السابق لأوانه الإفصاح عن ذلك في هذا الفصل.

* * *



الجزء الثاني

التشظي

مقدمة

لا شك في أننا مقبلون على حقبة من التشظي، بدأت بوادر معالمه المحسوسة منذ أربعة قرون خلت، لتعود إلى فجر العلم الحديث. ولكن إذا كان التشظي كائنا منذ تلك الآونة، فما هو هذا التشظي على وجه الدقة؟

أبسط ما يقال إن ثمة جانبين من جوانب هذا التشظي، مغزاهما ودلالتهما معروفان على نطاق واسع. الجانب الأول يتعلق بوضع الإنسان في هذا الكون وإدراكنا إياه، بينما يتعلق الجانب الثاني بالنواتج المهيمنة للتكنولوجيا الحديثة. يترك الجانب الأول تأثيره في العقل، بينما يؤثر الجانب الثاني في الحياة بأسرها.

من ذا الذي يستطيع أن ينكر الآن أننا جزء من تطور الأنواع الحية برمتها، جزء من تيار الحياة الكوني الدافق، وأن أصول أنسابنا تمتد بعيدا إلى الوراء حتى تعود إلى تَكَوُّن الشمس والأرض، ومنه إلى تخَلُق المادة، وظهور الأوكسجين الذي استنشقته أولى المخلوقات الحية، ثم إلى نشأة الذرات التي نتكون منها والتي كانت في يوم ما مكونات نجوم ميتة طال

«صفوة القول إنه كلما صارت معارفنا أكثر وأكثر، بدا أن ما نفهمه أقل وأقل»
المؤلف



عليها الأمد، من ذا الذي يستطيع أن ينكر أن لهذا الكون بداية؟ أفترض أننا جميعا نعلم هذه الأشياء، وأنها الخلفية العقلية لقرننا هذا. أما عن الإنتاج المتكاثر للتكنولوجيا، فإن آفاق كوكبنا الأرضي تزدحم بالطائرات والموجات والمعلوماتية، وثمة التغيرات المتوالية في حياتنا اليومية، والأثر الهائل للطب، وأزمات عالَم يعاني ويقاسي. نعلم أن كل هذا له أهميته الكبرى، لكن أقول مجددا إنه معروف جيدا، وليس لدي ما أضيفه لطوفان الكتب والمقالات التي تناقشه.

وإني لأود أن أتحدث عن تشظٍ ما، أقل تبديا وقليلا ما لوحظ، بيد أنه أيضا له أهميته. إنه يتصل بتحول عميق في العلم يمثل مرحلة تاريخية حدثت بالفعل، وله تأثير عميق في طبيعة التفكير، في فعل الفهم. إنه يسهم في حركة وضعية صيتها ذائع، ذلك التوجه المقتدر نحو التساوق والانتظام الذي أشرت إليه في المقدمة، حيث القوانين التي تنشأ عن كل فرع معين من فروع العلم تلتقي معا لتمثل كتلة منسابة من وحدة مفروضة. ومع هذا فإن التشظي كائن هناك. فالحق الصراح أن تلك القوانين مستغلقة تماما أمام الفهم، إذا ما نظرنا إليها بعيون العقل العادي أو بعيون الفلسفة الكلاسيكية. صفوة القول إنه كلما صارت معارفنا أكثر وأكثر، بدا أن ما نفهمه أقل وأقل.

وكثيرا ما يتناهى إلى أسماعنا تلك الشكاوى المشروعة من قبل أولئك الذين يعجزون عن تفهم مبادئ الفيزياء المعاصرة أو الرياضيات المعاصرة، ولم ينجح أي قدر من التبسيط في تحقيق التواصل معها. وفي هذا الموقف ثمة ما هو أكثر كثيرا مما يتبدى للنواظر، وما هو أكثر كثيرا من مجرد نواتج للإيغال في التخصص أو للمنزع المتعالي نحو التجريد: إنه مثول ظلام داخلي دفين.

بل لعل الأمر أسوأ من هذا، كما سوف نرى. فتحت وطأة العلم تستسلم الآن الأسس التقليدية للفلسفة. من المستحيل أن نصف هذا الانهيار في كلمات معدودة، لأنه لا يبدو أننا تعرفنا عليه في كل تشعباته. وحسبنا القول إننا فقدنا التمثل التلقائي للعالم الذي اعتدنا مثوله في أصول كل تفكير، لقد انهزم الحس المشترك، وانهزمت معه مبادئ الفلسفة التي نشأت عنه. في صميم قلب الواقع ثمة طغيان عجيب للتجريد، للصورية، ليس هناك إلا ترياق واحد ووحيد للبرء من كل هذا: أن نبتدع طريقا جديدا للفهم.



أصوات التصدع التي تومئ إلى ذلك التشظي كانت مسموعة بوضوح، لكن أحدا لم ينتبه إلى الهزيم الآتي من الأعماق، وتلك الصورة غير المكتملة راحت تجوب عوالم الفلسفة. أولا وقبل كل شيء، كان ثمة رجعة في المنطق ذاته، حينما أصبح صوريا واستبطانيا. وتزخر الكتب بما يفصح عن هذا، من كتابات رسل إلى كتابات فتغنشتين ومن كارناب إلى كوين أو بوبر. وأسبغ المنطق الصوري عونه في إحداث تجديد آخر أوسع نطاقا هو تجديد في الرياضيات، وذلك بقطع آخر الخيوط التي تربطها بالواقع. أصبحت الرياضيات مستقلة استقلالا ذاتيا كاملا، مباراة خالصة للعلاقات، حيث لم تعد الصور صورا لشيء ما عيني، بل يمكنها أن تلائم أي شيء. كثيرون هم الكتاب الذين ناقشوا هذا، أولئك الذين ذكرناهم آنفا وآخرون من أمثال جان كافيليه Jean Cavaillès ونفر من معاصرينا.

حدثت الانقلابات الكبرى في مضمار الفيزياء، هي: أولا نظرية النسبية، وقد أعادت فحص مقولات الفهم التي نظَّر كانط لها، ثم - وبصفة خاصة - ذلك العلم الذي يكاد يكون علما كونيا شاملا، والموسوم باسم «ميكانيكا الكوانتم»، والذي هو في واقع الأمر تعبير عام عن قوانين الطبيعة في عالم مصنوع من جسيمات حاضرة في كل مكان، وتكاد تكون غير قابلة للإدراك الحسي. ميكانيكا الكوانتم هي العلم الذي راح يحذرنا من حدود الحس المشترك، ومن أن بعض المبادئ الفلسفية الأساسية قد تكون على خطأ: مثلا القابلية للفهم والتعقل، التموضع، العلية. الكلمات تخذلنا؛ كل ما تفعله أن تحمل بين دفتيها المظهر المخاتل للأشياء، وتتصادم في ما بينها عن طريق التناقضات العديدة المديدة. الرياضيات لا سواها هي التي تملك الشراك القادرة على اقتناص مفاهيم الفيزياء، ليس فقط من أجل أن تجعلها دقيقة، كما كان الأمر في علم العصور الغابرة، بل لكي تصوغها وتنطق بها وتعبر عنها، ولا شيء البتة يحل محل الرياضيات في هذا.

بهذا نكاد نكون قد أوجزنا أساسيات هذا الجزء الثاني من الكتاب: تشخيص لحالة إعتام في العين، جعل رؤية العلم ضبابية غائمة، سواء الرياضيات المعاصرة أو ميكانيكا الكوانتم، كلتاهما متقوقعة في قلب المنطق الصوري (الذي سوف نجاهد لنخوض في أمره). وأيضا عبر خطوط عريضة سوف نستدعي أشكال الحيرة الفلسفية الحادة التي نشأت في سياق هذين العلمين، سواء في الرياضيات أو في إبستمولوجيا الكوانتم.



وإذ نفعل هذا، فإننا نمهد الأرض للمرحلة النهائية التي هي موضوع الجزء الأخير من الكتاب، لكنها تتطلب هذا التحليل التمهيدي. إن أي محاولة لتجديد فلسفة المعرفة على مستوى يليق بتعقد المشاكل الراهنة، لن يجدي فيها تجميع وترقيع لتأملات مفككة - نتفة من المنطق هنا، أو مزقة من الرياضيات أو من العلوم الفيزيائية هناك - تتبدى في كثير من الأسفار المتفرقة والمتخصصة، كما هو الوضع الآن. ينبغي أن يرتكز حجر الزاوية على دعامات من هذا الثالوث معا، مهما تكدر مزاج المتخصصين من هذا. لهذا السبب نحن نعمل الآن على بنائها - علوم المنطق والرياضيات والفيزياء - معا.

ثمة ملاحظة أخيرة تتعلق بعلم المصطلحات، فسوف نعمد إلى تفضيل الارتكان على الخصائص الفلسفية المشتركة بين هذه العلوم الثلاثة، وأن نوحد المرحلتين الكبريين في تطورها. لقد أشرنا إلى الفيزياء قبل هذا التشظي بوصفها العلم «الكلاسيكي»، وإلى الرياضيات من بعده بوصفها العلم «الصوري». وعلى هذا يكون منطق أرسطو كلاسيكيا، مثلما يكون حساب التفاضل عند نيوتن وليبنتز هكذا، بينما نطلق على فيزياء الكوانتم اسم «العلم الصوري»، على الرغم من العدد الجم من التطبيقات العينية لها. ولا يعدو هذا أن يكون تصنيفا ملائما لنا بشكل خاص، لكي نجعل حجتنا أكثر وضوحا وشفافية.





5

الرياضيات الصورية

عصر الصورية

من الآن فصاعدا سوف نتوقف عن تتبع معالم تاريخ الرياضيات، وهو بالمناسبة يتسارع في تقدمه، وبدلا من هذا سوف نركز على فِكَر ثلاث صادفتنا في ما سبق. الفكرة الأولى تتعلق بصميم طبيعة الرياضيات، وليس الغرض منها دراسة الأعداد أو الأشكال الهندسية تخصيصا أو أي مجال آخر متعين. هذه المجالات مجرد تطبيقات للرياضيات وليست أبدا ماهية الرياضيات. هذه الماهية هي دراسة العلاقات التي توجد بين المفاهيم، بغض النظر عن طبيعتها المعينة. جملة القول، إن الرياضيات هي الدراسة المجردة للصورة (*).

«إن الحقائق الوحيدة ذات المعنى في عالم الرموز هي العلاقات بينها»

المؤلف

(*) هذا الفصل يستند إلى مرجعين هما: الأبحاث المجمعة في: Abrégé d'historie des mathématiques1700-1900، وقد أعده للنشر Jean Dieudonné في جزأين (Paris: Herman,1978).
ومجموعة المقالات الأصلية التي أعدها للنشر Jean Van Heijenoort، وهي:
From Frege to Gödel, a Source Book in Mathematical Logic, 1879-1931 (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967) [المؤلف].



تتميز نهايات القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين بجهود هائلة للسيطرة على المجال الصوري، وتوطيد دعائمه وإرساء قواعده، وتحديد معالمه. ومثل هذه المغامرة تتطلب حذرا بالغا من أجل تثبيط عوائد الفكر وقصوراته، وتتطلب حملة لا هوادة فيها لاجتثاث المظاهر الخداعة. وتلك هي دواعي ترسانة الرموز التي تتقلد زمام عالم الفكر. أي إغواء يسلمنا إلى فتنة الحدس سوف نقصيه بحسم. لقد سار هيلبرت مع هذا التوجه إلى آخر المدى، حتى تراءى له - بشيءٍ من الدعابة - أن الكلمات الموحية من قبيل «النقطة» و«الخط» و«السطح المستوي» يجب هجرانها لكي يحل محلها «المنضدة» والمقعد» و«الزجاجة».

مثل هذا الانشغال المسبق والمكثف بالنزعة الصورية، وهذه الثقة المفقودة بالتمثيلات الحدسية لابد بالضرورة أن كان لهما تأثيرهما على المنطق. لم يعد المنطق مستطيعا الزعم أنه لا يتعامل إلا مع ما يجود به العقل من أشكال واضحة لكنها سطحية. لقد كان الضروري أن يصبح المنطق منطقا للصورنة، منطقا صوريا.

والفكرة الثانية تتعلق بأهمية اللا تناهي في الرياضيات. اللا تناهي كائن في كل مكان، باستثناء بضعة مجالات بالغة الدقة. وهو أيضا واحد من أصعب المفاهيم بالنسبة إلى التناول المنطقي، ويتطلب من المنطق قدرا مناظرا من التطور.

أما الفكرة المهمة الثالثة فهي البحث عن الاتساق. حينما كانت تعاد صياغة التحليلات لكي تستوفي معايير أقليدس المنطقية، بات من الضروري أن نعيد أولا فحص النموذج الأكسيوماتيكي (البديهي) لأقليدس ذاته. واستبيان دور الفروض. لم تعد البديهية حقيقة مثبتة بذاتها، ولا بتنا نفترض أن المصادرة هكذا مسلم بها، وبدلا من هذا بات يُنظر إلى المسلمات والبديهيات - كلتيهما - على أنها حقائق محتملة فقط، تستحق الاستكشاف من أجل خصوبة معقباتها المنطقية.

على أن الرياضيات حين انطلقت في قطع العلاقة بينها وبين الواقع الفيزيائي وأمثال تلك المرجعيات في العالم العيني، فقدت أيضا اليقينية - أو الحقيقية المفترضة - التي كان يكفلها الواقع. وبات من الممكن أن تهدد



الرياضياتِ عقباتٌ مستجدة وغير متوقعة، أو أخطاء مضمرة وتناقضات داخلية. هذه الأوضاع تذكي الحاجة إلى تأمل قشيب في مفهوم الصدق الرياضي، الذي أصبح الآن يفهم بوصفه الخلو من التناقضات، أي الاتساق المنطقي الكامل.

وهذا التطور الذي يسير بجملته نحو مقاربة صورية، لئن كان يثير المخاوف من أن يسفر عن خواء وفراغ، فإنه قد أثبت خصوبة ووفرة في النتائج لدرجة تدعو حقا إلى الدهشة، فلم يسفر عن خواء. فتح آفاقا جديدة لا حصر لها داخل الرياضيات ذاتها، وقد يبدو غريبا أن نجد هذا التوجه الصوري أبعد ما يكون عن تكريس الانفصال عن الواقع، بل إنه يؤسس اتحادا مستجدا مع الواقع. وفي أعقاب هذا التبدل في الرياضيات، سرعان ما وجدت الفيزياء نفسها مدفوعة نحو خارطة النسبية، والنظرية النسبوية relativistic للجاذبية وفيزياء الكوانتم. وبعض من أجرأ أبنية الرياضيات الصورية لن نستطيع الاستغناء عنها في صياغة قوانين الطبيعة. لا شيء ألبتة يبدو تفسيرا لهذا العجب الذي التقيناه، لكنه بلا ريب الكشف الفلسفي الذي أمسك عصرنا هذا عليه بجمع اليدين.

سوف يكون موضوع حديثنا المقبل هو رياضيات عصرنا الصورية هذه. لسنا نروم الوقوع في أحابيل تفاصيل دقيقة أو تخصصيات فنية، ولا أن يلحق بنا سوء الطالع فنخضع لإغواء بعض مشاهدها الناضرة. بمغزى ما سوف نتمثل بالقديس برنار وتأملاته في طريقه صوب جبال الألب من دون لمحة واحدة صوب الذرا الشاهقة، مستغرقا تماما في ما بدا له جوهريا وأساسيا.

المنطق الصوري

ليس هناك أدنى شك في أن غوتلوب فريغه G. Frege (١٨٤٨ - ١٩٢٥) هو الشخص الذي بذل قصارى الجهد لبعث وإحياء المنطق في عصرنا هذا. وكان الشعور بالحاجة إلى الإحياء قد بدأ مع نهايات القرن التاسع عشر، عندما نحا الإلمام بقضية اللا تناهي في الرياضيات نحوا يدفعها قدما إلى الأمام. طبعا، كان هناك قدر من المقاومة للزيادة



الضرورية في مستوى التجريد، من جانب ذلك النوع من الناس المنبهرين اليوم بإنجازات الحاسوب (الكومبيوتر) الذي يعمل من حيث هو آلة بالمنطق الصوري.

يصعب الحكم على الإسهامات بعيدة الأثر لكل من فريغه وكانتور في بضع كلمات أو جمل. ومع هذا، ينبغي أن نقول شيئا ما عن المنطق، إذا كنا نرغب في مناقشة الرياضيات الحالية، ولسوف نواجه المنطق مرة أخرى عند محاولة فهم فيزياء الكوانتم. لكننا لن نحتاج إلى التعامل مباشرة مع تحليل الأعمال الصعبة لفريغه، فسوف تكفي بضع كلمات عن أعمال سلفه جورج بول G. Boole (١٨١٥ - ١٨٦٤).

تمثل الإنجاز الرئيسي لبول في تحقيق واحد من أحلام ليبنتز: استنباط رمزية عملية، مع مجموعة متكاملة من القواعد التي يُعَوَّل عليها، لإجراء العمليات المنطقية بطريقة آلية وبسيطة. إحدى أفكاره الرئيسية الممتازة تقضي بأنه بدلا من تعريف خصائص موضوع ما، نضع الإشارة إلى كل الموضوعات التي تتمتع بالخصائص نفسها. على سبيل المثال، بدلا من تعريف الصفة «أحمر» باستخدام كلمات غير وافية حتما: فإنه يفترض أن المرء يستطيع دائما أن يقرر ما إذا كان شيء معين لونه أحمر أم ليس أحمر اللون، ومن ثم فإن كل الأشياء الحمراء تُكَوِّن عالم الأشياء ذات اللون الأحمر. لهذا يرى بول أن التعميم، أو مقاربة الفئة، أفضل من التصور comprehension الذي يتطلب تعريفات دقيقة. على هذا النحو، نفترض وجود الفئة H لجميع البشر، والفئة M لجمع الفانين. عندئذ يمكن التعبير عن تقرير قضية بسيطة مثل «كل البشر فانون» بالقول إن الفئة H متضمنة في الفئة M.

يفترض بول أيضا رمزا بسيطا ووجيها للرابط المنطقي «و»، والذي أشار إليه بوصفه حاصل ضرب. على سبيل المثال، إذا كان هناك فئة B من أناس شعرهم أسود وفئة F من الإناث فقط، فإن فئة الإناث ذوات الشعر الأسود يرمز إليها عندئذ بحاصل الضرب المنطقي F•B، وهي فئة العناصر المشتركة في كلتا الفئتين B و F. وبطريقة مماثلة يُعَرف بول البديل المنطقي «أو»، الذي يشار إليه برمز الجمع. إن إناث أو أناس شعرهم أسود يكونون فئة تسمى اتحاد الفئتين F وB وصيغتها هي F+B طبقا لبول (للإنصاف



نقول إن أداة الجمع المنطقي «أو» هذه، تختلف عن أداة الاستبعاد «أو» التي تناظر «هذا أو ذاك، وليس كلاهما»، لم تكن من وضع بول إنما أدخلها جيفونز Jevons (*).

وهناك فكرة أخرى قال بها بول لتلبية حاجة استشعرها علماء المنطق، لكنها أخطأت الهدف، ألا وهي الحاجة إلى فئات شاملة universal sets. إحدى هذه الفئات هي الفئة الفارغة (التي لا تحتوي على أي عنصر) ويرمز إليها بول بالصفر (0) (**) الفئة الأخرى هي العالم universe الذي تشير إليه ضمنيا أي حجة منطقية معطاة - «عالم المقال discourse أو بالألمانية Denkbereich» المشار إليه آنفا - يمكننا توضيح هذا المفهوم بمثال. افترض أننا نتحدث عن الزواج. هذا يستلزم الإحاطة بمفهوم المتزوجين عموما، أي فئة المتزوجين من الرجال والنساء. وبعد ذلك يمكننا اعتبار فئة الأزواج، لكن أي نوع من الأزواج أو الزيجات نتحدث عنه؟ هناك زواج أحادي، وتعدد زوجات في وقت واحد، وتعدد أزواج في وقت واحد (كما هو موجود في التبت منذ عهد ليس ببعيد). هذه ثلاثة عوالم مقال ممكنة، ومن ثم فإن بنية الفئة المعينة وخصائصها ستكون مختلفة جدا في كل حالة. ويتطلب المنطق أن نحدد، قبل أي شيء آخر، نوع عالم المقال المقصود، أو الفئة المرجعية الشاملة. يمثل بول لهذا «العالم» بالرمز 1.

وبهذا يمكن وصف النفي negation في حدود فئات أيضا. فيرى بول أن قضية ما هي تقرير بأن عناصر معينة تنتمي إلى فئات معينة. على سبيل المثال إذا كانت الفئة الشاملة 1 هي فئة كل الناس، فإن سقراط يكون أحد عناصر هذه الفئة، وتكون الفئة B المكونة من كل إنسان أشقر متضمنة في

(*) الفئة المكونة من إضافة أعضاء فئتين أخريين تحمل اسم «حاصل الجمع المنطقي logical sum» وتسمى أيضا الفئة الفصلية disjunctive set، لأن إجراء الجمع هو في حقيقته فصل بين أعضاء الفئتين المجموعتين، على الرغم من جمعهما معا في فئة واحدة كبيرة، بمعنى أن جمع فئتين لا يزيل الفارق بين أعضائهما، بل تظل أعضاء كل فئة متميزة عن أعضاء الفئة الأخرى. ويرمز إلى الفصل القوي بين الفئات المراد جمعها بالرمز ±، الذي يعبر عنه بالقول «إما... أو» (either ..or) أما الفصل الضعيف فيرمز إليه بالرمز (+) الذي يعبر عنه بالأداة «أو» (or)، ويسمى أحيانا الفصل الشمولي، في مقابل الفصل القوي الاستبعادي غير الشمولي. وكان جيفونز هو الذي اقترح في كتابه «المنطق الخالص» العام ١٨٦٤ إجراء تعديل بالنسبة إلى الجمع المنطقي عند بول (راجع: د. عزمي إسلام، أسس المنطق الرمزي، مكتبة الأنجلو، القاهرة، ١٩٧٠) [المترجمان].

(**) لذلك تسمى أيضا الفئة الصفرية [المترجمان].



الفئة 1، والآن نجد أن القضية «سقراط أشقر» تعبر بدقة عن واقعة مفادها أن سقراط ينتمي إلى الفئة B. ونفي هذه القضية («سقراط ليس أشقر») يساوي تقديم الفئة 'B المحتوية على عناصر (من 1) والتي لا تنتمي إلى B، وهذا إفصاح عن أن سقراط ينتمي إلى الفئة 'B، ويرمز بول إلى الفئة 'B بالرمز B – 1.

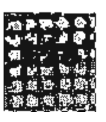
الرمزية المنطقية الموضحة أعلاه تؤدي دورها جيدا مادامت يتم تناولها بعناية. بعبارة أخرى، تناول الرموز (1، 0، •، +، –) محكوم بقواعد دقيقة تماثل قواعد الجبر، ولكنها ليست مطابقة لها. بالرجوع إلى الفئتين (الشُقر) و (الإناث)، يكون لدينا بوضوح B•F = F •B (*) بالنسبة إلى كل أنثى شقراء، فهي إنسان من الجنس المؤنث وهي شقراء). لكن لدينا أيضا F•F = F (كل امرأة أنثى هي أنثى). وضع بول القواعد الدقيقة لجبر المنطق هذا، وأكملها بعد ذلك دي مورغان A. De Morgan وتشارلز بيرس C.S. Pierce، وهي موجودة اليوم في كل كتاب عن المنطق، بما فيها الكتب المعدة لأجيال المستقبل من مهندسي الكهرباء وعلماء الحاسوب.

يأتي بعد ذلك المفتاح الرئيسي للمنطق الذي يسمح بصياغة نتائج مبادئ معينة: وهو التضمن أو اللزوم المنطقي logical implication (معروف بالفعل عند الرواقيين). في نسق بول، تتضمن قضية ما a قضية أخرى b إذا كانت الفئة A المناظرة للخاصة a متضمنة في الفئة B المناظرة للخاصة b، يمكن كتابة ذلك اصطلاحيا في صورة «المعادلة» A•B = A.

وبشكل أعم، مكنتنا أعمال بول من تأسيس ارتباط وثيق بين المنطق ونظرية الفئات. وقد لا يتفق المرء تماما مع تعريف بول للخاصية في حدود الفئة – ولسوف نرى حالا البديل، باستخدام الرموز، كما فعل فريغه. إلا أن المنطق على الرغم من ذلك يتطلب دائما فئة ما مرجعية، أي مجموعة من القضايا المتصورة التي تكوِّن عالم المقال.

وربما ينشأ بعض الوقت، سؤال متوقَّع هو: هل يمكن اختزال كل الرياضيات ببساطة إلى منطق؟ الرد بالإيجاب عن هذا السؤال هو أساس الجزأين الكبيرين من كتاب برنكيبيا ماتيماتيكا Principia Mathematica

(*) كما أشرنا في هامش مفصل، لا داعي لترجمة الرموز إلى العربية، لأن الرموز في حد ذاتها لغة مستقلة. ولكن مادمنا قد أبقيناها على رسم الحروف اللاتينية فلا بد أن تكون قراءة أي صياغة رمزية مركبة أو أي معادلة من اليسار إلى اليمين [المترجمان].



لرسل ووايتهد (*). وبعد بضع سنوات فضل بورباكي Bourbaki أن يستخدم نظرية الفئات كأساس للرياضيات، ويجعل للمنطق دورا ثانويا. أيهما يمثل البداية الصحيحة؟ لم تتوافر الإجابة الواضحة بعد، وربما يستحيل العثور عليها.

الرموز والفئات

إن القليل الذي ذكرناه عن المنطق غير كافٍ يقينا، على أن مرمانا الحقيقي يقع في مكان آخر، ويتمثل في إعطاء فكرة عن طبيعة الرياضيات المعاصرة، بصوريتها الكمينة والمتغطرسة معا. ولكي نصف هذا العلم الخاص بالرموز والعلاقات، سوف نبدأ بالرموز.

كل شيء مبني على مبدأ الوسط الممتنع أو الثالث المرفوع excluded middle في أنقى صوره (**) في البداية هناك رمزان متمايزان يرمز لهما بالصفر والواحد (0، 1). كان يمكننا استخدام أي رمزين آخرين، أو نقطة زرقاء ونقطة حمراء - إذا كان هذا الكتاب مطبوعا بالألوان. على أي حال، ما

(*) أطلق رسل ووايتهد على هذا الكتاب اسمه «أصول الرياضيات» باللغة اللاتينية «Principia Mathematica»، لكي يتمايز عن الكتاب الذي أصدره رسل بمفرده بالاسم نفسه: «أصول الرياضيات» Principles of Mathematic قبل ذلك بسنوات وبالتحديد مايو من عام ١٩٠٢، وهذا الكتاب الذي ترجم إلى العربية ترجمة جيدة يحمل الأساس الفلسفي لمشروع رد الرياضيات إلى المنطق، وكيفية شق الطريق والسير فيه، وككل محاولة فيه شيء من القصور، تجاوزه رسل برفقة وايتهد في «برنكبيا ماتيماتيكا» الذي أشار إليه المؤلف والذي صدر بجزأيه في ١٩١٠ و١٩١٣، وجاء أشمل وأوفى، وطبيعي أن يكون العمل المتشارك أفضل وأكمل من العمل الفردي.

في كتاب «برنكبيا ماتيماتيكا» يبدأ رسل ووايتهد بثلاثة لا معرفات هي الإثبات والنفي والبدائل، ومنها فقط تمكنا بواسطة التدوين الرمزي من استنباط قواعد المنطق الصوري بأسرها. ثم الرياضيات البحتة بأسرها، وهذا التناول التحليلي للرياضة الذي: ردها إلى المنطق أثبت أنها مثلها مثل المنطق، قضايا تحليلية فارغة من أي مضمون، وأصبح مبرهناً أن الرياضة بأسرها لا تعني إلا اشتقاق النتائج الضرورية التي تلزم عن مقدمات معينة. ومقدمات الرياضة البحتة بأسرها ليست إلا قواعد للاستدلال، إنها تحصيلات حاصل المقدم هو ذاته التالي، لكن في صورة أخرى ولا إضافة البتة، لذلك يستحيل أن تقبل الكذب وأن تتعرض للتكذيب. إنها يقينية لأنها لا تمثل إلا ارتباطات جديدة بين مفاهيم معروفة وتبعاً لقواعد معروفة.

والأهم من كل ذلك بالنسبة إلينا الآن أن هذا الكتاب يعني أن الرياضيات صورية تماما. هذا ويمكن الرجوع إلى تفصيل كل هذا في: يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، سلسلة عالم المعرفة، ديسمبر ٢٠٠٠، ص ٢١٩ وما بعدها [المترجمان].

(**) مبدأ حذف أو استبعاد الوسط هو نفسه قانون عدم التناقض (في المنطق)، ويعني التقابل بين الإيجاب والسلب في حدين أو قضيتين تحتويان على عنصرين لا يجتمعان معا. مثل العبارة (أ ولا أ)، وكذلك العبارة (أ أو لا أ) التي تعني إما صدق أ أو صدق لا أ، ولا وسط بين الحالتين البديلتين [المترجمان].



يهم هو التحقق من أن الصفر والواحد هنا ليسا عددين، بل هما رمزان لكنّ رمزان يمثلان ماذا؟ يمثلان نفسيهما فقط. يقول ديكارت الحاضر الغائب: أعطني الصفر والواحد (0، 1) وسوف أعطيك فكرا. وحتى لا نذهب بعيدا، دعنا نقل الآن إننا مهتمون فقط بتعريف ماهية الرمز، وأن رمزين اثنين فقط يكفيان لتوليد كل الرموز.

لنفترض على سبيل التبسيط أننا نمتلك حاسوبا (كومبيوتر). وأن حاسوبنا تحديدا له ذاكرة تستوعب تخزين الرموز الأولية مثل الواحد والصفر (أي الأرقام الثنائية المعروفة باسم بيتات bits (*)، أو تخزين أوتار منها. يتم تزويد الآلة فيزيقيا بكل من الرمزين 0 و1 بواسطة جهد كهربي بين طرفي ترانزستور، بحيث يتخذ الجهد قيمتين مختلفتين. وتنقسم ذاكرة الحاسوب إلى وحدات متنوعة يُستخدم كل منها لغرض معين، ويكون الحاسوب بذلك آلة محدودة لها سعة ذاكرة محدودة - وربما تكون كبيرة جدا.

بالبدء بالرمزين الأوليين 0، 1 يمكن بناء رموز (مركبة) أخرى فقط عن طريق كتابة الرمزين السابقين على التتابع بصورة متكررة، وتكون النتيجة سلسلة من الأعداد المكونة من الرقمين الصفر والواحد. مثل: (10 ,11 ,100 ,101 ,110 ,0 ,1 ,1000,111) إلى آخره. كل تتابع طوله متناهٍ، وكذلك يكون المجموع الكلي للأرقام الممكن تخزينها في حاسوبنا (المتناهي) متناهيا بدوره. يمكننا بواسطة هذين الرمزين أن نعبر عن تشكيلة من الأفكار: كتابة أعداد، تمثيل نقط ودوائر، إجراء عمليات منطقية وحسابية، وهكذا.

وحتى إذا كانت صفوف الرقمين 0 و1 كافية لأن نبني منها كل علوم الرياضيات، فإن عقلنا، بعكس الحاسوب، لا يطمئن إلى بساطتها الرتيبة. لهذا السبب سيكون من المناسب مناقشة الرياضيات على مستويين مختلفين، أحدهما يصفها كما هي واقعيا، والآخر يصفها كما يجب أن يسمع عنها الإنسان. في المنظور الأول (بالنسبة للحاسوب)، كل شيء يُكتب ويُعبر عنه بدلالة الرمزين الأوليين. مثل هذه اللغة مناسبة جدا للتفكير المجرد تماما، لأن صرامتها الشديدة تحول دون ما يطرحه خيالنا من تفسيرات غير مبررة

(*) الرقم الثنائي binary digit هو أحد رقمي نظام العد الثنائي القائم على الصفر والواحد فقط. والـ «بيت bit» كلمة منحوتة من المقابل الإنجليزي للرقم الثنائي [المترجمان].

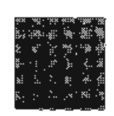


للرموز. لكن من ناحية أخرى، مثل هذه اللغة المنتقاة سرعان ما تصبح مبهمة بالنسبة إلى عقولنا. ومن ثم فإننا سوف نتحدث أحيانا كبشر أي «بين بعضنا والبعض الآخر»، أو بين المؤلف والقارئ، بلغة عادية.

هدفنا الأول سيكون تعليم نظرية الفئات الأساسية للحاسوب. إلا أننا لن نتبع خطوات جبر المنطق التي وضعها بول، لأنها - على الرغم من بساطتها الظاهرية - وراء متناول الحاسوب. أو أنها بعبارة أخرى، لا تزال حدسية للغاية حتى أنه يصعب تشكيلها. إن فئة النساء ذوات الشعر الأسود تمثل شيئا ما بالنسبة إلينا - تصورا ذهنيا، أو فكرة - لكنها لا تعني شيئا على الإطلاق بالنسبة إلى الآلة التي لا تفهم معاني الكلمات، خاصة كلمة «فئة». يجب أن نبدأ على مستوى أعمق ونعلم الآلة قواعد النحو، معنى هذا أن نعلمها النظرية دون أي إشارة إلى المعنى، أو إلى تمثيل حدسي، أو دلالات للألفاظ، باختصار يجب أن نعلم حاسوبنا اللغة الصورية • formal language للنظرية.

سوف تؤدي كل وحدة من وحدات الذاكرة دورا مختلفا. فهناك وحدة العناصر، ووحدة أسماء الفئات، ووحدة الفئات، وأيضا وحدة العلامات ووحدة القضايا. وقد توجد هناك وحدات أخرى أيضا، لكن ما لدينا يكفي ما نرومه، وهو توضيح المنهج الصوري. تحتوي وحدة «العناصر» على مجموعة ثابتة من الرموز، أي من صفوف الرقمين صفر وواحد، وسوف نرمز إليها «في ما بيننا» بأحرف صغيرة: c, b, a ...إلخ. سوف تتضمن وحدة الذاكرة الخاصة بأسماء الفئات رمزا نفترضه لتسمية الفئة المختزنة في وحدة «العناصر» هذه الفئة التي يرمز إليها بالحرف E (كما هو معتاد سوف نستخدم الحروف الكبيرة [= الكابيتل] لترمز إلى الفئات) (*) يمكن اعتبارها فئة شاملة (أو 1 طبقا لترميز بول)، وسوف نستخدمها لتعليم الحاسوب نظرية الفئات بطريقة عملية، أي عن طريق إخباره بالقواعد اللازمة لتناول الرموز المختلفة وتداولها.

(*) بطبيعة الحال يمكن كتابة جميع الصيغ المنطقية الواردة في هذا الفصل بصيغ وحروف عربية، لكن ليس مهما على الإطلاق، فالأصح أن الرموز لا تعتبر إنجليزية أو عربية، لأن الرموز لغة في حد ذاتها، لكن آليات الكتابة الإنجليزية تفيد في التوضيح هنا. فنرمز إلى الفئة بالحروف الكبيرة، المعروفة باسم الحروف الكابيتل Capital، ونرمز إلى عناصر الفئة بالحروف الصغيرة. وبالطبع كان يمكن أن نرمز إلى الفئات بالرموز ا، ب، جـ، وإلى الأعضاء بالرموز هـ، و، ي... أو بأي رمز آخر نشاء...
مرة أخرى نقول ما قاله المؤلف وهو أن الرموز مسألة اتفاقية بحتة، فيمكن أن نتفق على أي رمز شئنا لأي مفهوم [المترجمان].



تتمثل الخطوة التالية في بناء الفئات الفرعية من E، وهذه في الحقيقة مرحلة بسيطة جدا. ثمة أولا الفئات الفرعية أحادية العنصر، وهذا يساوي نسخ محتويات ذاكرة «العناصر» في ذاكرة «أسماء الفئات». والآن، نظرا إلى أن وحدة الذاكرة تغيرت، فإن «العناصر» السابقة لم تعد تمثل المفهوم نفسه، فهي الآن أصبحت «عناصر منفردة» singletons كما يسميها الرياضيون، وتكتب على الصورة {a} على سبيل المثال، لترمز إلى فئة عنصرها المنفرد هو a. وبالمنوال نفسه، نحصل على أسماء {a,b} لكل الفئات الفرعية التي تتكون الواحدة منها من عنصرين (مميزين)، ثم للفئات الفرعية ثلاثية العناصر، وهكذا، حتى تُسمى جميع الفئات الفرعية من E، بما فيها الفئة E ذاتها. ومن الأفضل أن نضع اسما آخر ضمن أسماء الفئات: وهو الفئة الفارغة، أو الفئة الخالية من العناصر، ويرمز إليها عادة بالرمز Ø (0 في ترميز بول).

أما في وحدة ذاكرة العلامات، فنقوم بتخزين أربعة رموز فقط هي (في ما بيننا) ∈، ∉، ⊂، ⊄. وهي تمثل علاقات معينة بين عناصر أو فئات ويمكن التعبير عن هذه العلاقات بالكلمات الآتية: ينتمي إلى، لا ينتمي إلى، متضمنة في، غير متضمنة في، على التوالي. على سبيل المثال نكتب A ∈ a لنبين أن العنصر أو العضو a ينتمي إلى الفئة A. يستطيع الحاسوب أن «يفهم» معنى هذه القضية باختبار صحة ما إذا كان العنصر a مندرجا ضمن عناصر الفئة المسماة A. إذا كان الأمر كذلك، فسوف يوَجّه الحاسوب حينئذٍ ليقوم بتخزين تتابع الرموز A ∈ a في وحدة «القضايا»، وإلا فإنه سيكتب A ∉ a وبالمثل، نقول إن الفئة B مُتَضمنة في الفئة A، وتكتب على هذه الصورة A B ، إذا كان كل عنصر في B ينتمي أيضا إلى A. مرة أخرى، يستطيع الحاسوب أن يتحقق من صحة ذلك التقرير، ويقوم بتخزين A ⊂ B أو A ⊄ B (وفق ما تكون الحالة) في وحدة ذاكرة «القضايا».

على أن القارئ قد يتساءل: ما هي الافتراضات المتعلقة بالعمليات التي يستطيع الحاسوب تنفيذها؟ الجواب هو أن الحاسوب يخضع للقواعد الأساسية للمنطق الصوري التي وضعها فريغه وبيانو (لكننا لن نناقشها هنا، إنما نعترف بهذه الحقيقة فقط لا غير). وبصرف النظر عن ذلك، فإن حاسوبنا ليس أساسيا لعملية البناء، وإنما هو مجرد أداة مناسبة لتوضيح السمة الرمزية الخالصة للمنطق، والغياب الكامل لأي تمثيل مرئي.

ربما تبدو تلك المعلومات الأولية رتيبة ومملة، ومع ذلك فإننا نأمل أن تبين كيف يتم التعبير عن المفاهيم المقدمة حتى الآن بواسطة رموز فقط، من دون مساعدة أي تمثيل حدس ضمني. ويمكننا أن نرى في هذا المثال كيف يمكن لنظرية رياضية أن توضع منهجيا في صورة تنظيم منطقي لرموز، ولا يحتاج معناها إلى تحديد مسبق. يمكن أن تكون «العناصر» أسماء طلاب إحدى الجامعات، ويمكن أن تمثل فئة فرعية معينة فريقا لكرة القدم، على أنه من السهولة بمكان أن تكون العناصر ثمار شجرة تفاح، والفئة الفرعية هي محتويات سلة. إن الحقائق الوحيدة ذات المعنى في عالم الرموز هي العلاقات بينها.

القضايا

سوف ننتقل الآن إلى مستوى تجريد أعلى. ومن السمات المهمة للرياضيات قدرتها على أن تتعامل على قدم المساواة مع أشياء حقيقية ومع أشياء محتملة فقط. فالحديث عن جزء من خط يتساوى تماما في حالة ما إذا كان الخط يمثل الخط الذي يصل قمتي جبلين حقيقيين، مثل جبل الأكروبولس وجبل ليكابث في أثينا، وحالة ما إذا كان الخط لا يعدو أن يكون مجرد إمكان، كأن نقول: افترض أن AB جزء أو قطعة من خط. أيضا، عند الحديث عن عدد ما، فإنه يمكن أن يكون العدد 8 أو أي عدد ممكن n لا نعرف عنه شيئا. وهذه على وجه الدقة هي تعددية استعمالات الفكر ومطواعيته التي سوف نتعامل بها مع الحاسوب، فهو حقل تجاربنا في التفكير الصوري.

بدلا من الحديث عن أشياء ما على أنها حقيقية (أو صريحة جلية)، وعن أشياء أخرى على أنها محتملة أو ممكنة فقط، فإننا سوف نصف الأولى بأنها عينية concrete أي واقعية مدركة بالحواس، والأخرى بأنها مجردة abstract(*)، وللتوفيق بين هذين النوعين من الأشياء فإننا نحتاج إلى حيز من سعة الذاكرة. ومن ثم فإن وحدة «العناصر» السابقة سوف تنقسم الآن إلى قسمين: «عناصر عينية» و«عناصر مجردة»، ويتم هذا بالمثل بالنسبة «لأسماء الفئات».

لتوضيح الفكرة، افترض أن عناصر E هي الرموز 0، 1، 10 (وهي تسمى باللغة العادية 0 و1 و2)، وسوف يتم تخزينها في وحدة ذاكرة «العناصر العينية». وحتى يمكن الحديث عن عنصر ما عام، أو «عنصر a» - وهو «العدد

(*) يسمي بعض المناطقة الحد العيني الذي يمكن إدراكه بالحواس: اسم الذات، والحد المجرد الذي لا يدرك بالحواس: اسم المعنى [المترجمان].

x»، كما قد يقال في الجبر- نختار رمزا يمثل الحرف a ونقوم بتخزينه في وحدة «العناصر المجردة» إذا وجدنا في سياق البرهان المنطقي أن a = 2 (أو إذا كان a = 2 أحد فروضنا) فسوف يكون من السهل عندئذٍ وصل خلية الذاكرة في «العناصر العينية» المشتملة على الرمز ١٠ (العدد 2) بخلية الذاكرة في«عناصر مجردة»، حيث يُخزن الاسم a.

يمكن أيضا استخدام العلامات، مثل Œ أو C للتعبير عن علاقات بين عناصر مجردة أو فئات. وإليك المثال التالي: إذا كانت P ترمز لفئة من أعداد زوجية، فيمكن لحاسوبنا أن يتحقق بسهولة من صدق القضية 6 E P (بافتراض أنه يستطيع إجراء حساب أولي) حيث يمكن إعطاء تعليمات له ليتحقق من أن العدد ٦ قابل للقسمة على ٢، إلا أن القضية a Œ P لا يمكن التحقق من صدقها على هذا النحو، ما لم نزود الآلة بمعلومات إضافية. ولسوف نقدم الآن مفهومين مهمين هما: مفهوم القضية المجردة ومفهوم ما وراء اللغة أو اللغة البعدية metalanguage•.

القضية الصورية في حقيقة الأمر هي تتابع رموز مُجمَّعة طبقا لقواعد تركيبية [نحوية] معينة. على سبيل المثال، نفهم من التعبير عن القضية $a \in A$ أن العنصر a ينتمي إلى الفئة A، وهذا يؤدي إلى أن الرمز الأول (a) يجب أن ينتمي إلى قائمة أسماء العناصر، مجردة أو عينية، التي تحدد الفئة A، والرمز A يجب أن يكون اسم فئة (مجردة أو عينية). وبالنسبة إلى العلامة $\in$ فإنها تظهر بين اسم العنصر واسم الفئة، إذا كان يراد لتتابع الرموز أن يكون ذا معنى. يوجد العديد من الرموز والعلامات الأخرى في الرياضيات يجب ربطها بطريقة مناسبة لكي تكون تتابعا ذا معنى (أو قضية صورية ذات معنى). في النظرية الأساسية للفئات نجد بعضا من تلك العلامات الأخرى، مثل » التي تدل على تقاطع فئتين، والعلامة « تدل على اتحادهما (وقد رمز إليهما بول في الأصل بالعلامتين 0 و +). إن القواعد التي تحكم كتابة «الجُمل» تكوِّن نوعا من النحو الذي يجب أن يتعلمه حاسوبنا.

إحدى هذه الجمل الصحيحة نحويا هي (a∈A » B) fi (a∈B). (a∈A)) والتي تعني (بلغتنا) أنه إذا كان العنصر a ينتمي إلى الفئةA وينتمي أيضا إلى الفئة B، فإنه إذن ينتمي إلى تقاطع هاتين الفئتين.



ويمكننا نحن البشر أن نستنتج عن طريق الملاحظة مثل هذه العلاقات بين الفئات، ولكن هذه الحقيقة لا محل لها هنا. وتوجد جمل أخرى عديدة نعتبرها هي الأخرى سليمة لغويا بالنسبة إلى الحاسوب، وحتى إن كنا لا ندري الغرض من كتابتها. على سبيل المثال: ((a∈ A « C) fi (a∈ B). (a∈ A)) من أين جاءت هذه الفئة C التي حلت محل B؟ لا ندري. لكن هذه الجملة يمكن أن تكون عبارة صادقة بالنسبة إلى فئة ما محددة C. ونحن بتعريفنا لقواعد النحو وتحديدها نكون في الواقع قد عرّفنا لغة ما (هي في هذه الحالة لغة تتحدث عن فئات)، وبهذه اللغة يمكن إقرار قضايا أغلبها صورية. ومن منظور المنطق، نكون قد عرّفنا أيضا عالم مقال جديد.

إن كتابة قضايا مجردة برموز مرتبطة طبقا لقواعد تركيب معينة هي مسألة يمكن مقارنتها بلعب مباراة اخترعها السيرياليون تسمى «الجثامين الفاتنة cadavers exquis» (*) يكتب الشخص مادة (كلمة أو عبارة) ونعتا، يضيف شخص آخر اسما إلى الكلمات السابقة من دون أن يراها، ثم يأتي شخص آخر ويكتب فعلا، متجاهلا بداية الجملة، وهكذا. وينتج في النهاية جملة صورية، سليمة لغويا، ولكنها بداهة بلا معنى، كأن تكون مثلا: «الطواويس شبه الشفافة تبيع أرواحها في أمطار تونس»، إلا أنها في بعض الأحيان تكون قابلة لتأويل شاعري. وإمكان تركيب جملة مثل: «الخطان المتعامدان يتقاطعان دائما» بهذه الطريقة احتمال ضئيل للغاية، حتى لو تم اختزال عدد المفردات المسموح بها. صحيح أن لدينا لغة، ولكن ليس لدينا معنى بعد، أو معيار للصدق.

في بداية الأمر، كان حاسوبنا يمتلك المبادئ الأولية للغة ليتحدث عن عناصر وفئات عينية، وعن بعض العلاقات المعروفة بينها. إلا أن هذه اللغة لم تكن كافية للتعبير عن قضايا مجردة. ولعمل هذا يتطلب الأمر وحدات ذاكرة إضافية ولغة جديدة أوسع تشمل اللغة الأساسية. هذه اللغة الموسعة التي تشمل كل شيء يمكن أن تعبر عنه اللغة السابقة وأكثر تسمى اللغة البعدية (بالنسبة إلى اللغة السابقة).

(*) هذا التعبير cadavers exquis أصبح يعني «الجثامين الفاتنة» delightful corpses، وقد ورد خلال إحدى المباريات الأولى للعبة. وجده اللاعبون تعبيرا شاعرياً فاعتمدوه اسما للعبة.



بضع ملاحظات متعلقة بالصدق

في بعض الأوقات، يمكن أن تكون لعبة «الجثامين الفاتنة» مدعاة للملل إذا لم يحدث أن تكونت بعض الجمل الموحية. أما لعبة علماء الرياضيات فأكثر جدية، وسوف تكون أكثر رتابة وأدعى للملل إذا لم تتمخض عن تلك الدرة الثمينة: الصدق truth، لكن ما هو الصدق في الرياضيات الصورية؟

لنأخذ على سبيل المثال القضية $a\in A$. هناك حالتان محتملتان: أن يكون أي من العنصر a والفئة A موجودا في ذاكرة الحاسوب فعلا، أو يكون أحدهما أيضا (أو كلاهما) لا يزال (أو لا يزالان) مجرد أسماء فقط من دون مضمون معين. ويمكن للحاسوب في الحالة الأولى أن يتحقق من صدق ما إذا كان a موجودا بالفعل بين عناصر الفئة A، ومن ثم يقرر ما إذا كانت القضية صادقة أم كاذبة. في الحالة الثانية يمكن الاستدلال على صدق القضية (أو كذبها) من استنتاج ما قبلي، أو أن يفترض صدقها فقط على سبيل الفرض. الحالة الأولى حالة مباشرة، أما الثانية فتستحق مزيدا من الاعتبار.

إذن الصدق الرياضي نتيجة منهج أكسيوماتيكي (بديهي)axiomatic method يسير العمل به عبر أربع خطوات. أما عن البداية أولا، فهناك عالم المقال الناتج عن قضايا سليمة نحويا. وهذه القضايا تكونت، كما شرحنا من قبل، من رموز تمثل أشياء (عناصر، فئات، ..)، وعلاقات (=، ∈، ∉، ....) وعمليات (∪، ∩، ...). إن حساب القضايا propositional calculus يسمح للمرء بأن يربط بين القضايا السليمة تبعا لقواعد المنطق. هذه القواعد، المماثلة كثيرا لتلك التي وضعها بول، يمكن تعليمها للحاسوب بسهولة. السؤال في الأساس عن كيفية تناول العمليات «و»، «أو»، «ليس»، =، «إذا كان...، فإن...»، والحق أن القضايا الصحيحة نحويا (والمخزونة فعلا في وحدة ذاكرة «القضايا») إذا عرَّفناها الآن بالحروف a,b,c، ثم أمكن لبرنامج فرعي يسمى المنطق logic (مُخزَّن في وحدة ذاكرة أخرى) أن يكوِّن القضايا الجديدة «a وb»، «إذا كان a، فإن b»، وهكذا، وكل منها سوف يخزن أيضا في وحدة «القضايا»، وبهذا تكتمل الخطوة الثانية من المنهج الأكسيوماتيكي (البديهي). ولمصلحة القارئ الذي قد لا يرتاح بإزاء ترك المنطق للحاسوب، دعنا نشر إلى أن المنطق ذاته يمكن أن يصاغ صوريا وبديهيا، وذلك مرة ثانية بفضل العمل الأساسي الذي بدأه فريغه وبيانو.



الخطوة الثالثة في المنهج الأكسيوماتيكي تتحدد في تعيين إحدى «قيمتي الصدق truth values» (*) لكل قضية من القضايا. وهاتان القيمتان تُمثلان أيضا بالرمزين 0 (الذي نفسره الآن بأنه يعني الكذب) و1 (صدق) ويتم تخزينهما في الذاكرة تحت الاسم المميز «قيمتا الصدق». كل القضايا العينية القابلة للتحقق من صدقها مباشرة بواسطة الحاسوب يمكن التعرف على قيم صدقها في الحال (مثلا، ‹‹$3\in\{1,2,3\}$›› – من الواضح أنها صادقة). وهناك قضايا أخرى تظل في منزلة غير محددة، خاصة إذا كانت تشتمل على مفاهيم مجردة (مثلا ‹‹$3\in A$››). ولا يمكن اعتبار قيمة صدقها إلا «كاسم قيمة صدق» مجرد V، وهو نوع من نموذج المجهول المستخدم في الجبر، إلا إذا كانت V يمكن أن تأخذ فقط إحدى القيمتين 1 أو0، أي صادقة أو كاذبة.

إن قيمة صدق القضية الناتجة عن تطبيق عمليات منطقية إنما تتحدد بقيمة صدق القضايا المكونة لها. على سبيل المثال، إذا افترضنا أن كلتا القضيتين a و bصادقة، فإن القضية المركبة «a وb» تكون صادقة أيضا. يمكن إدخال هذا النوع من القواعد (المعروف جيدا منذ كريسيبوس) في وحدة «المنطق»، إن هناك ما يشبه السحابة المكونة من قيم صدق ممكنة معلقة فوق كل القضايا الممكنة في اللغة الصورية.

أما الخطوة الأخيرة فهي التي تعطي المنهج الأكسيوماتيكي اسمه، وهي تشتمل على اختيار عدد معين من القضايا وتقرير صحتها بصورة حاسمة. إنها «البديهيات axioms» •، المحكوم عليها بالصدق سلفا. مثلا، سوف نذكر اثنتين من البديهيات العشرين العجيبة لنظرية الفئات الأولية [if = إذا كانت، then = إذن]:

‹‹If $A\subset B$ and $B\subset C$, then $A\subset C$›› و ‹‹ If $a\in A$ and $A\subset B$, then $a\in B$››

لمساعدة القارئ على فهم الفكرة العامة لهذا المنهج الأكسيوماتيكي (البديهي) سوف نلجأ إلى رسم صورة بلاغية. ودعنا نتناسَ تناهي حاسوبنا ومحدوديته (وهو هنا مجرد أداة بلاغية تحتفي بالأسلوب واللغة المنمقة) ونتخيل عالم المقال لنظرية الفئات الصورية (أو لأي نظرية رياضياتية أخرى) على أنه حقل واسع تتناثر فيه أشجار لا حصر لها تمثل كل القضايا الممكن تصورها أو تخيلها. بعض هذه الأشجار، البديهيات، تمثل نبع مياه الصدق. وبالتالي، تحدد قواعد المنطق شبكة قنوات لا تعد ولا تحصى لحمل الماء من شجرة إلى شجرة.

(*) قيمتا الصدق truth values هما إصدار الحكم «صادق true» أو «كاذب false» على القضية [المترجمان].



وبما أن حساب القضايا يولد آلافا مؤلفة من القضايا، وأن قيمة الصدق لقضايا جديدة يمكن استنتاجها من قيم صدق قضايا قديمة، فإن الصدق سوف يتدفق من النبع (أي من البديهيات) ليروي تدريجيا بصورة متصاعدة حقل القضايا بأكمله. والقضية التي يستقر صدقها بهذه الطريقة تدعى «مبرهنة theorem». ونجد بين هذه المبرهنات ما هو مألوف ويستحق هذه التسمية، بينما توجد أيضا قضايا أخرى عديدة، غير ذات صلة على الإطلاق أو لا أهمية لها ألبتة. ومع ذلك فإنها جميعا صادقة. ويمكننا التحقق من صدقها بالنظر إلى سلسلة الاستنباطات المنطقية، أي القناة التي تنقل الصدق من منبعه الأكسيوماتيكي إلى المبرهنة. مثل هذا المسار الذي يسلكه الصدق يسمى برهانا proof.

غالبا ما يثبط المنهج الأكسيوماتيكي الهمم بسبب مستواه التجريدي البالغ الإفراط، ويأسى الكثيرون لعجزه البالغ بإزاء ما يتعلق بالحدس، بينما يعتقد آخرون في المقابل أن صفاءه الخالص يفيد في الحماية من الافتراضات الخطرة أو التأويلات المضللة. يضاف إلى ذلك أن الرياضياتي الخبير يستطيع دائما أن يستخدم الحدس لانتقاء بديهيات مهمة حقا، وأن يستغل ذكاءه في البحث عن براهين. ومن المؤكد أن البديهيات إذا كانت قد اختيرت من بين غابة من القضايا اختيارا عشوائيا ، لما كانت النتيجة قد أدت في الأغلب إلى شيء - وربما تسفر فقط عن مبرهنات عادية غير ذات أهمية - بل وأسوأ من ذلك فربما تؤدي إلى متناقضات، كأن تستلزم ثلاث بديهيات أن تكون الرابعة كاذبة. إن الأعجوبة الأبدية المسماة بالرياضيات تجعل من الممكن أن تولد بديهيات معينة حقائق جديدة لا تنتهي، ويكون بعضها جميلا ورائعا لدرجة مثيرة للدهشة، إن البديهيات ذاتها يجري استخدامها مرارا وتكرارا دون أن ينقص من ثمارها شيء.

بالرجوع إلى الصورة التي رسمناها عن الصدق، وبدءا من البديهيات والانتشار خلال حقل القضايا، نجد من الممكن تخيل أن بعضا من هذه القضايا سوف يصعب بلوغ الغاية منها عن طريق السير عبر تدفق تيار الصدق، ومن ثم يكون محكوما عليها بالموات، فتبقى عديمة الفائدة وعديمة الأهمية، بسبب نقصان القوت المغذي إياها. إلا أنه يمكن إحياؤها إذا أضيفت بديهية جديدة. من الممكن أيضا أن تكون بعض القضايا سهلة المنال فقط



خلال شبكة لا نهائية من القنوات التي لا يستطيع أحد البتة أن يتتبعها حتى نهاياتها، حيث هنالك يؤون أوان مبرهنة كورت غودل Gödel's theorem الشهيرة التي سوف نناقشها بإيجاز.

لاحظ أن كل قضية لها مقابلة تنفيها. ومن الواضح أن صدق إحداهما يعني كذب الأخرى. ويقال إن منظومة البديهيات تكون متناقضة contradictory إذا أمكن أن يستنتج منها صدق مقولة ما ونفيها. فوراء المظهر المزيف الذي يبدو سليما، يمكن لمنظومة معينة من البديهيات أن تخفي تناقضا في الأعماق. لقد كانت هذه المسألة الخاصة باتساق consistency المنظومات البديهية مصدرا رئيسيا لقلق علماء الرياضيات ومدعاة لانشغالهم بها. وقد أمكن إثبات اتساق منظومات ذات طبيعة معينة وتتسم بالبساطة - من قبيل النظرية الأساسية للفئات المتناهية أو حساب الأعداد المتناهية (*). إلا أن مسألة الاتساق لم تستقر بعد بالنسبة إلى النظريات المهمة والمفيدة فعلا، وهذا مصدر قلق وانزعاج لبعض علماء الرياضيات.

ترويض اللا نهاية

اللا نهاية تتخلل الرياضيات وتنتشر في ثناياها. فهي تمثل في حالتي التفاضل والتكامل جزءا من العملية ذاتها، حيث تؤدي خطوات عديدة بغير نهاية إلى الاقتراب أكثر وأكثر من الكمية المطلوبة. وعند التعامل مع أعداد غير عادية جديرة بالملاحظة، مثل النسبة التقريبية π، تظهر اللانهاية في التتابع غير المحدود للأرقام المطلوبة لكتابتها بالكسور العشرية التامة. وهكذا اللا نهاية موجودة هنا، وهناك، وفي كل مكان. لكن كيف السبيل لترويضها واستئناسها؟

إن المقام المفضل للانهاية غالبا ما يكون ماثلا أمام أعيننا كلما قمنا بالعد أو بالحساب: واحد، اثنان، ثلاثة، إلى آخره، وهلُمّ جرا. لكن ماذا نقصد من ذلك؟ وإلى أي مدى أو درجة تستمر هلُمّ جرا؟ الإجابة: يدوم الاستمرار ويتصل بلا نهاية. إنه مفهوم غريب، ولكنه طبيعي ومألوف بالفطرة، وفي

(*) الفئة المتناهية أو المحدودة finite set تحتوي على عدد محدد من العناصر. مثال ذلك أن تكون الأعداد الصحيحة الواقعة بين ٠ و١٠٠ فئة محدودة من هذه الأعداد المحدودة. أما الفئة اللامتناهية أو غير المحدودة infinite set فتحتوي على عدد غير محدود من العناصر، ومثالها فئة الأعداد الطبيعية N = (0,1,2,3) [المترجمان].



الوقت نفسه مُحيّر ومُراوغ. وقد ظهر لأول مرة في عصر الفلاسفة السابقين على سقراط، عندما طرح انكسمندر «الأبيرون» ليدل على مادة أولى لانهائية وأبدية وغير قابلة للإتلاف، وهي مبدأ أول ترد إليه جميع الأشياء التي تأتي إلى العالم. لقد استأثرت الفلسفة بفكرة اللا نهاية ولن تكف أبدا عن الحلم بها. أما أفلوطين Plotinus (٢٠٤ - ٢٧٠م) مؤسس الأفلاطونية المحدثة Neoplatonism (*) فقد خلع على الفكرة رداء الصوفية: الإله المقدس لانهائي من كل جهة أو وجه، الجود والحكمة والقوة، إنه اللا نهاية ذاتها. نمت هذه الفكرة بقوة بين معظم اللاهوتيين فكانوا في طليعة الذين فكروا منطقيا في أوصاف اللامتناهي وفي اللا نهاية ذاتها. وفي الأعم الأغلب كانت تفاجئهم تناقضات مذهلة.

لم يتخذ الرياضيون منحى بعيدا تماما، وأوضحوا - من بعد أرشميدس - أن العدد الصحيح الأعظم لا يمكن أن يوجد (لأنه إذا وجد فإن إضافة الواحد إليه ينتج عنه عدد أعظم)، وبدا أنهم قانعون أو راضون بقبول إملاءات الحدس. ومجددا أصبحت اللا نهاية مسألة ملحة في حساب التفاضل والتكامل على وجه الخصوص، وذلك بإدخال تعريف الطول اللامتناهي في الصغر لقطعة ما، وأصبح هذا مقبولا من دون قيد أوشرط، (**) ومع ذلك لم يبدر عنهم سعي أوتخطيط لإحراز تقدم أكبر في هذا الاتجاه إلا في القرن التاسع عشر فقط، عندما قرروا الإمساك بالثور من قرنيه ومواجهة المشكلة بشجاعة.

(*) ولد أفلوطين ببلدة ليقوبوليس بمصر العليا، من أعمال محافظة أسيوط حاليا، وقصد الإسكندرية لدراسة الفلسفة في مدرستها الشهيرة. وعرض فلسفة تثليثية يناهض بها المسيحية الناشئة حديثا. وقد أرجع أفلوطين العلة الأولى إلى الخير لأنه مبدأ كل شيء، وهو فوق الوجود وفيوضه أزلية [المترجمان].

(**) تجب الإشارة إلى أن علماء الرياضة العرب في العصر الذهبي للحضارة الإسلامية لهم هم أيضا إسهامات جديرة بالاعتبار بشأن اللاتناهي الرياضي. على سبيل المثال يمكن الرجوع إلى بحث رشدي راشد الممتاز: «القابلية للتصور والقابلية للتخيل والقابلية للإثبات: السجزي وابن ميمون في القضية ١٤». الكتاب الثاني من «القطوع المخروطية لأبلونيوس، في: Fundamenta Scientiae, Vol. 8, no. 3/4, Brazil, 1987,Pp. 241-256»، وقدمت له د. يمنى الخولي ترجمة وتقديما ودراسة تحت عنوان «في الرياضيات وفلسفتها عند العرب».

يقدم لنا أحمد بن محمد بن عبد الجليل السجزي، المتوفى نحو العام ٤١٥ هـ/ ١٠٢٤م، نموذجا لتعاملات الإسلاميين الحذرة مع مفهوم اللاتناهي. فهو يتوقف عند القضية ١٤التي تنص على أن الخطوط المقاربة والقطع الزائد يتقاربان أبدا ودون أن يلتقيا، وهذا الاقتراب الدائم بغير لقاء.. بغير نهاية يعني بطبيعة الحال الاقتراب بمقادير لامتناهية الصغر. ولئن كان نص الكتاب عاليه يتحدث أساساً عن اللامتناهي في الكبر، وهذه القضية تتعلق باللامتناهي في الصغر؛ فإن السجزي ينظر إلى مفهوم ←

هناك نوع خاص من اللا نهاية قد يمهد السبيل لكل الأنواع الأخرى، ألا وهو لا نهاية الأعداد الطبيعية. ولذلك سوف نبدأ بمناقشتها، وذلك عن طريق اللجوء مرة أخرى إلى صدقنا الحاسوب حتى لا نتأثر بأي لبس أو غموض تسببه عقولنا.

الحاسوب يعرف كيف يعد ويحصي: واحد، اثنان، وهكذا حتى يصل إلى أكبر عدد تخزنه ذاكرتنا بصورة رمزية. ولا يوجد أي عدد بعده بالنسبة للحاسوب، ولكي «يفكر تفكيرا أبعد» من ذلك عليه بالضرورة أن يعود إلى المنهج الأكسيوماتيكي (البديهي) وإلى لغة بعدية metalanguage أكثر تعقيدا.

افترض أن الحاسوب يستخدم مناطق معينة من الذاكرة للتعامل (بالكتابة، بالتخزين،... الخ) مع الأعداد الطبيعية، وهي الأعداد التي نستطيع كتابتها صراحة بالأرقام العشرة على سبيل المثال: (1,0,13, 712, 8, 3, 2) يستطيع الحاسوب دائما أن يضيف عددين طبيعيين بشرط ألا يزيد حجم الحاصل عن سعة ذاكرته. إنه يخزن في وحدات أخرى بالذاكرة العلامات ورموز العمليات الخاصة بنظرية الفئات، وقواعد المنطق، والتعليمات الخاصة بطرق ربط القضايا وكيفية إيجاد قيم صدقها، وهكذا. ولنقل في ما بيننا إن معنى هذا هو مجرد الإلمام والإحاطة بنظرية الأعداد الطبيعية بعد أن تم تطوير المنطق ونظرية الفئات الأساسية، وبعد أن عرفنا ماذا تعني قضية رياضية ما وماهية الفرق بين البديهية والمبرهنة.

← اللاتناهي من زاوية أعمق ويصل بها إلى حدود أبعد تتجاوز الرياضيات لتقتحم فلسفة الرياضيات. هذا من حيث إن السجزي قد عالج مشكلة الفجوة بين الاستعداد لتصور خاصية ما، وبين القدرة على البرهنة عليها ،فاللاتناهي غير قابل للتصور، لأن تستوعبه المعرفة وتحيط به، ولكنه مع هذا قابل للبرهنة والإثبات.

وقد يبدو للنظرة العجلى أن التصور شرط أولي للبرهان، والبرهان بدوره يفضي إلى جلو التصور. لكن الأمر ليس هكذا، فقد استوقفت السجزي واقعة شديدة الخطورة، وهي أنه لا يمكن أن يوجد تصور لكل شيء يمكن البرهنة عليه، فأصبحت المشكلة هي تحديد العلاقة بين التصور والإثبات، أو القابلية للتصور والقابلية للإثبات. ولئن كان ابن ميمون بعد ذلك بزمن قد جعل هذا التقابل بين الخيال وبين الإثبات لتفقد المشكلة كثيرا من قوتها المنطقية فإن السجزي في معالجته لهذه الإشكالية قد طرح منهاجا بارعا يتلخص في تقسيم القضايا الرياضية. تبعا للوضوح الذاتي والقابلية للإدراك حدسا، إلى خمسة أنماط متسلسلة: الأولية ثم الأقل أولية. ثم الأقل والأقل... فتكون البديهيات هي نقطة البدء أو النمط الأول في هذا التصنيف، لنصل إلى النمط الخامس والأخير وهو القضايا التي يصعب تصورها حتى بعد البرهنة عليها.

وكما أشار رشدي راشد، لعل السجزي في هذا يرهص بالاكتشاف الحديث المتلخص في أن برهان النظرية الرياضية لا يخلق صدقها خلقا، بل ينقل هذا الصدق من المقدمات الى النتائج، أو من المسلمات والمصادرات إلى النظريات. ومن الواضح أن المؤلف رولان أومنيس يعمل بهذه الأطروحة [المترجمان].



سوف تضاف وحدة ذاكرة جديدة لأننا نحتاج إليها لاحتواء الأسماء (الرمزية) للأعداد المجردة التي سوف نشير إليها بحروف من قبيل n, p, q، وهكذا. وسوف يكون من الممكن دائما تعريف عدد ما مجرد بعدد عيني، ونقول مثلا أن $n = 13$. ربما يكون هذا التعيين فرضيا (أي نقرره نحن) أو يكون النتيجة النهائية لحجة أو لحساب ما. على سبيل المثال، إذا وضعنا $n = 6+7$، فسوف ينتج عن هذا أن $n = 13$، ويستطيع الحاسوب بمساعدة العلامتين «+» و«=» أن يكتب قضايا عن أعداد (مجردة أو عينية)، مثل $n = p+q$.

هذا البناء الجديد مطمور في نظرية الفئات الأساسية بواسطة الاتفاق على أن الأعداد الطبيعية هي عناصر فئة يرمز إليها بالحرف N، وعلى الرغم من الخاصة المجردة لهذه الفئة، فإنها مُعرّفة تماما بفضل بديهيات معينة صاغها ديدكند وفريغه وبيانو. هذه القواعد هي:

١ - ٠، ١ عددان طبيعيان.

٢ - إذا كانت n أي عدد طبيعي، فإنه يوجد عدد طبيعي آخر يسمى اللاحق successorللعدد n، ويمكن كتابته على الصورة $n + 1$.

٣ - بالنسبة إلى كل عدد طبيعي n يكون لدينا $n + 1 \neq 0$ (أي أن الصفر ليس لاحقا لأي عدد).

٤ - إذا كان p و q عددين طبيعيين، وكان $p + 1 = q + 1$، فإن $p = q$ (أو أن كل عددين لهما اللاحق نفسه يجب أن يكونا متساويين).

٥ - لتكن S فئة فرعية من N لها الخاصيتان التاليتان: (١) الصفر ينتمي إلى S، (٢) إذا كان p عددا طبيعيا ينتمي إلى S، فإن $p + 1$ تكون كذلك. وبهذين الشرطين تتطابق S مع الفئة N التي تشمل الأعداد الطبيعية كلها.

البديهية الثانية تُنسب إلى أرشميدس، وهي تلك البديهية لتي تولد التتابُع غير المحدود للأعداد الطبيعية. والبديهية الأخيرة تعزى إلى بيانو، وهي أساس مبدأ الاستقراء Induction، وتؤدي دورا أساسيا في براهين رياضية عديدة. ولمزيد من التوضيح سنعطي مثالا بسيطا لتطبيقها، حتى لو كان في ذلك شيء من الاستطراد. يقال إنه حينما كان غاوس يدرس في المدرسة الابتدائية، حدث ذات مرة أن أعطى مدرسه لتلاميذ الفصل التمرين التالي: أضف ٢ إلى ١، ثم أضف ٣ إلى حاصل الجمع السابق، ثم أضف...٤ واستمر على هذا المنوال حتى تصل إلى ١٠٠، وكان المدرس يطمح في أن يستمتع باستراحة هادئة خلال الوقت الذي ينشغل فيه



التلاميذ بجمع كل تلك الأرقام. وتوقع أن يطول الوقت بما يكفي لكي يستمتع بوجبة غداء هادئة، وأيضا لكي يهضمها تماما. إلا أنه بعد بضع دقائق فقط لاحظ المدرس أن غاوس قد توقف عن الحساب. فأثار هذا اهتمامه، وذهب ليتحقق من كراسة الطفل، فوجد أن غاوس بعد عمليات جمع قليلة قام بضرب ١٠٠ x ١٠١، ثم قسم حاصل الضرب على ٢، ليحصل على الرقم ٥٠٥٠، وهو الإجابة الصحيحة. ذلك أن غاوس كان قد اعتمد على البديهية الخامسة، وبالتالي تأتى له أن يلاحظ أن ١+١=٣، ١+٢+٣=٦، ١+٢+٣+٤=١٠، وإذا كان آخر الأعداد المضافة هو n، فإن حاصل الجمع يساوي ٢ (n (n +١ ومن ثم كان حسابه البسيط للجواب الصحيح (*).

ويبقى هنالك السؤال عن مبرر لسبب صحة العلاقة أو الصيغة الواردة أعلاه بالنسبة إلى أي عدد طبيعي n، ويتقدم مبدأ الاستقراء لينقذ الموقف. ولتكن S هي فئة الأعداد الطبيعية n التي تكون صيغة الجمع لها وهي ٢ (n (n +١ = n + ... + ٢ + n١ صادقة. ويسهل التحقق من ذلك بإضافة ١ + n لكل من طرفي المعادلة، فيصبح الطرف الأيمن ٢ (n + ٢) (n + ١) ومن ثم فإنه إذا كان n ينتمي إلى S، فإن n+1 يكون كذلك. لكن العدد ٠ = n أيضا ينتمي إلى S، لأن ٢/ (١ + ٠) ٠ = ٠. إذن طبقا للبديهية الخامسة، نجد أن S تتطابق مع N، بعبارة أخرى نقول إن الصياغة ذات صحة عمومية.

إن منظومة بيانو تميز فئة الأعداد الطبيعية على نحو تام، فقط مع بضع بديهيات واضحة تماما ويسهل تطبيقها على الواقع. ربما نندهش من بساطة هذه البديهيات. ولكننا نندهش بنفس الدرجة من حقيقة مفادها أن اكتشافها استغرق ألفين من السنين.

يسمى المنهج الأكسيوماتيكي بالبنية النظامية لجميع الأعداد. الأعداد الصحيحة أولا (وعلى وجه الدقة الأعداد غير السالبة منها هي الأعداد الطبيعية)، ثم الكسور (تسمى أيضا الأعداد النسبية rational numbers لأنها تظهر على هيئة نسبة بين عددين صحيحين) (**) الموجبة والسالبة على السواء، يلي ذلك ما يسمى بالأعداد الحقيقية، ويمكن كتابتها في صورة

(*) في الأمر الواقع، أضاف غاوس الصغير ١ إلى ١٠٠، فحصل على ١٠١، وحصل على النتيجة نفسها بجمع ٢ + ٩٩، وهكذا. وما كان عليه إلا أن يضرب ١٠١ في عدد عمليات الجمع الجزئي، وهي تحديدا ٥٠ عملية.

(**) يستخدم المناطقة أيضا مصطلح الكسور المنطقة، ويسهل بيان انه بين أي كسرين منطقين كسر ثالث دائما، ومن هذه النقطة يسهل التقدم إلى اللامنطقات Irrationnal والأعداد الحقيقية Real Numbers [المترجمان].



عشرية (وربما بكسور عشرية غير محدودة)، يتبعها الأعداد المركبة. كل هذه البنيات مؤسسة على طريقة أو منهج يظل واضحا وصارما في كل مرحلة من المراحل. ويمكن تطبيق المنهج الأكسيوماتيكي نفسه على أفكار ومفاهيم أخرى مهمة، مثل مفاهيم الزمرة أو المجموعة group، والهندسات المختلفة، وعلى كل مفاهيم التحليل. ربما تعترض مسارَنا أنواع مختلفة من اللانهاية، مخيفة بدرجة أكبر كثيرا من لانهاية الأعداد الطبيعية، لكن هناك - مرة ثانية - سوف تساعد حصيلة البديهيات على دعمها من دون حدوث انقطاع. ومع ذلك، لن ينشغل سبيلنا بالمزيد، لأنه سوف يؤدي إلى ساحة الرياضيات الحديثة.

رياضيات العصر الحاضر

إن رياضيات العصر الراهن قائمة جملة وتفصيلا على مقاربة أكسيوماتيكية، أصلها منظومة رموز ليس لها اتصال مباشر بالواقع وتخضع لقواعدها الخاصة بها. وتكمن السمة الرئيسية لهذه الرياضيات في إذعانها الكامل للمنطق الصوري والرمزي أيضا. هذا المستوى من التجريد لا يعني عدم وجود متسع إضافي للتخيل. على العكس، هناك اختيار البديهيات الملائمة، وربط المبرهنات المهمة أو بعيدة المنال، والبحث عن براهين جديدة (أو تنقيح براهين قائمة)، والكشف عن قياسات موحية تسود عالم الرياضيات الرحيب، وذلك كله لا يكون ممكنا من قدرة تخيل إبداعية.

هذا التخيل لا يدخر جهدا في السعي وراء الجدة. وإذا ظلت الرموز هي الأساس فليس هناك ما يمنع أهل الرياضيات من أن يمكثوا داخل حدودهم. والواقع أن الرياضيين، فضلا على أنهم يستخدمون الرموز، يفضلون كثيرا أن يتحدثوا بلغة شبيهة قدر الإمكان للغة العادية، وهم - فوق ذلك - لا يستهينون بالصور الموحية، وكثيرا ما تكون الكلمات التي يستخدمونها عبارة عن بون شاسع من السلاسل الجافة لرموز غامضة تعالجها الآلات الحاسبة. وهم يقولون «فئات»، «أماكن»، «أعداد»، «جوار»، «مُثُل»، «متري»، «انحناء»، «مرشحات»، «اختيار»، «تطبيقات»، «مجموعات»، «تقاطع»، «اتحاد»، «توزيع»، وكل كلمة تشير إلى تصور مبني على منظومة بديهية دقيقة، لكن ذلك السبب لا يجعلها أقل استدعاء للغة العادية والصور الموحية. هناك ألفاظ أخرى مزعجة بدرجة أكبر مثل: «تطارز» (أي من نفس الطرز isomorphism، «دالة مُقْرِنة» (رابط) functor،



«طوبولوجيا» topology، لكن غالبا ما يكفي لتوضيحها القليل من التعليل والتبسيط لأصل اللفظة وتاريخها. وبصفة عامة، تعتبر لغة الرياضيات أقل إلغازا من المصطلحات الطبية، ويمكن مقارنتها نوعا بلغة علم النبات. والصعوبة في تعلمها أقل من الصعوبة في التحدث بها بطلاقة.

تستمع الرياضيات المعاصرة بثراء باذخ لدرجة مذهلة، واستكشافها الكامل يتطلب عمرا مديدا. ولهذا يستحيل رسم أطلس لها، وخصوصا أن هذا العالم قد تغيرت خارطته - وتغيرت لغاته أيضا - منذ الحقبة الكلاسيكية. وكلمات من قبيل الحساب (أو نظرية الأعداد) والجبر والهندسة والتحليل لم تعد لها تماما المعاني نفسها التي كانت تعنيها، وذلك بسبب الزيادة في المعرفة والتنوع في الموضوعات التي تغطيها. عدد من «البنيات» صممت، مثلما يحدث في الخريطة المجسمة: خصائص جمعية (فئات)، خصائص التجاور (الطوبولوجيا)، خصائص عمليات (حلقات، مجموعات...)، خصائص دوال (مفهوم له صور متعددة وكائن في كل مكان)، وكل بنية من هاتيك البنيات تتفرع إلى العديد من بنيات فرعية أخرى. هذه الخرائطية الجديدة تناظر طرقا خاصة لتجميع البديهيات، وتكشف بذلك عن علاقات وروابط غير متوقعة بين مجالات للتطبيق تبدو للوهلة الأولى غير ذات صلة.

ليس انتقاء البديهيات أمرا اختياريا. وإذا رغب أحد في إدخال بديهية جديدة من دون فحص جاد، فإنه في الأغلب لن يجد إلا ركام أحجار عديمة الجدوى بدلا من عرق الذهب الذي تعلق بحباله. إن اختيار هذه البديهية أو تلك، من أجل تبسيط نظرية ما، أو الأمل في أن يسير التطور إلى بديهية جديدة، لا يمكن أن يتأتى أو يتسنى إلا نتيجة لدراسة مئات الأمثلة المتعلقة بالموضوع، أو نتيجة لحدس ذكي نافذ، فبقدر ما تكون ثمار الجهد وفيرة يكون نتاج الفكر ومحصول الذكاء. ولن يتم إقرار بديهية أو فكرة جديدة مقترحة إلا إذا كانت نتائجها غنية بالثمار أو بتقديم حلول لقضايا قيد البحث.

الأفكار الرياضية أشبه بالكائنات الحية التي يتنافس بعضها مع بعض(*) لكي تظفر بالبقاء يجب أن تكون مفيدة ومهيأة جيدا، وفوق كل هذا تكون ولودا خصيبة. يجب أن يكون هذا واضحا جدا للعيان، وإلا فلن يُلتفت إليها.

(*) في هذا الصدد ربما يكون من الملائم الإشارة إلى أن كارل بوبر قدم نظرية داروينية لتفسير طبيعة التقدم العلمي وبمقتضاها نجد النظريات العلمية في مسار تطورها محكومة بقانون الصراع من أجل البقاء والبقاء للأصلح. إن نظرية بوبر الموسعة والشهيرة تمثل تصديقا رائعا على هذه العبارة التي قالها المؤلف (انظر: د. يمنى طريف الخولي، فلسفة كارل بوبر: منهج العلم.. منطق العلم. الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ط ٢، ٢٠٠٣، ص ١٧٧-١٨١ [المترجمان].



ومن الفائق حقا للمعتاد أن ما هو أقل وضوحا، إنما هو إعادة إنتاج لمثل تلك الخصوبة، ورحابة الحقول التي تغطيها. لا يستطيع أحد أن يشرح مثل هذه الظاهرة بطريقة مرضية، حتى إن كانت إحدى الحقائق المدهشة في تاريخ الأفكار. وعلاوة على هذا، لا يبدو أن ثمة أي حدود أو نهايات لإمكانيات الرياضيات وقدرتها.

على أننا تحدثنا عن الرياضيات بما يكفي فعلا، ولنستكمل الآن عرضنا الموجز لتاريخها. كان هناك فترة إعادة تنظيم من خلال المقاربة الأكسيوماتيكية، مع وجود البدايات المضللة لأي عمل بمثل هذا الحجم. واستمرت هذه الفترة مائة عام تقريبا، من ١٨٥٠ حتى ١٩٥٠، وبرزت عدة أسماء: فييرشتراس وديدكند وكانتور وفريغه وبيانو وهربرت ورسل ووايتهد. كما شارك في الجهد كثيرون غيرهم، ولكننا لسوء الحظ لا نستطيع الاستطراد في تفاصيل الإسهامات الخاصة بهم. على أن من أنجز معظم البرنامج صراحة هو نيقولا بورباكي N. Bourbaki المتعدد الأوجه (هذا لقب أطلقه على بورباكي فريق من الرياضيين يتغير أعضاؤه باستمرار).

وعلى الرغم من ذلك، توقفت البديهيات التي تحمل تطورات جذرية عن أن تشغل خشبة المسرح المركزية منذ أواسط القرن العشرين. وباستغلال الميزة الكامنة في إلقاء النظرة، بعد أن يتم كل شيء، تم القيام ببعض المراجعات، وأهملت الأنساق الأكسيوماتية ذات العمومية الزائدة التي تجعلها ولودا مثمرة. أخيرا تم التوصل إلى تسوية عادلة وأصبحنا نشهد اليوم حصادا جديدا، مع وفرة في نتائج العمل الذي يجري بشأن الأساسيات.

الأزمة في أساسيات نظرية الفئات

سوف يكون عرضنا صورة مشوهة للتاريخ إذا ما أعطينا الانطباع بأن تحولا شاملا كالذي وصفناه لفورنا قد حدث من دون عوائق أو مقاومة. فهناك حدثان شهيران يستحقان الذكر في هذه القصة الزاخرة بالأعمال العظيمة، إذا كان المراد هو فقط تقدير مغزى التغيرات التي حدثت وأهميتها، الحدثان هما: الأزمة في أساسيات نظرية الفئات، في العام ١٩٠٢، واكتشاف مبرهنة عدم الاكتمال لكورت غودل Gödel's incompleteness theorem خلال العامين ١٩٣٠و١٩٣١.



إن ما يُعرف بالأزمة في نظرية الفئات لهو حدث مثير، حتى يستحق أن يُعاد تمثيله بالروح التي كان عليها، أي أنه دراما لا تنقصها الأضواء المهيبة ولا الآهات المفجعة. لذلك نعرضها هنا كما لو كانت على خشبة المسرح تقريبا.

وحال رفع الستار سنجد شخصيتين هما غوتلوب فريغه وبرتراند رسل. والأداء يتم في معبد خاص بربة الرياضيات وربة المنطق. توجد في الخلفية صورتان شخصيتان بالحجم الكامل لأعظم كهنة ذلك الزمان: ديفيد هيلبرت وهنري بوانكاريه. وهناك صور أخرى أقل بروزا تمثل ديدكند وبيانو وكانتور. تظهر صورة فريغة نفسه على حامل في مقدمة المشهد، لقد جرى استرجاعها حالا من المخزن بعد مقام طويل فيه.

يظهر الممثل الذي يلعب دور فريغه وهو في الخمسينيات من عمره. إنه متواضع، لكن يبدي انفعالا فريدا لا يمكن أن يوحي بغير الصدق. لقد مر خمسة وعشرون عاما تقريبا على نشر كتيبه عن المنطق، الذي لم يجذب الانتباه في بادئ الأمر. أما برتراند رسل فهو في الثلاثين من عمره، تبدو عليه سمات الأرستقراطي واضحة جلية، ويتحدث بلكنة كامبردج دون إتقان.

فريغه: أجل، كتابي الأخير عن نظرية الفئات على وشك أن يصدر لقد استمر عشرين سنة طويلة من الجهد الشاق، لكنه ربما يستحق هذا الجهد.

رسل: أنت تعرف رأيي فيه جيدا، فهو لن يقل أهمية عن كتابك الأول الذي ألفته في المنطق منذ أرسطو، وأعتقد أن كتابك الأخير سوف يضع الرياضيات على أساس صلب يقينا. ويا له من إنجاز يشرف العقل البشري (*).

فريغه: دعنا لا نبالغ. على أي حال صحيح أن المنطق واضح بدرجة كافية، بينما أعتقد بالنسبة إلى الرياضيات أن يبدأ المرء بنظرية الفئات ويبني عليها كل شيء. فليس هناك في واقع الأمر شيء أبسط ولا أوضح من الفئة. وعندما تتكلم عن مجموعة أشياء، يعلم الجميع عما تتحدث.

رسل: نعم إنها تبدو واضحة تماما، ومع ذلك لدي تحفظ بسيط ومزعج.

(*) هذا التعبير قاله هيلبرت [المترجمان].



فريغه: أي تحفظ؟

رسل: هناك شيء ما يحيرني في كتابك «تدوين الأفكار» (*)، فأنت تقول فيه فئة ما تكون بالأساس اختيارية تحكمية، وأنا أؤكد على مصطلح «اختيارية تحكمية arbitrary» الذي يمكن دائما أن يؤخذ كعنصر في فئة أخرى. أمازلت تعتقد هذا؟

فريغه: بل أكثر من دائما. الجزء الأكبر من كتابي الجديد مبني على هذه الحقيقة. والفكرة تُستكشَف بصورة متكررة. هل لديك اعتراض ما؟ أعتقد أنها واضحة. ما الخطأ في الاعتقاد أن أي شيء يمكن أن يكون دائما متضمنا في فئة إلى جوار أشياء أخرى؟

رسل: هذا هو ما يخبرنا به حدسنا يقينا. بيد أني أتساءل عما إذا كنا نثق في صحته دائما، وعما إذا كان من الممكن أن يخدعنا حدسنا عندما لا نختبره ولو برهة.

فريغه: حسنا، أرى أنك قد عثرت على شيء ما ينبغي تنحيته... ما هو؟

رسل: هل توافق من حيث المبدأ، على أن هناك فئات معينة يمكن أن تتضمن نفسها كعناصر؟

فريغه: هذا على أي حال يعتبر نتيجة مباشرة لما قلناه سابقا. وإذا سألتني عن مثال، فسأقترح دليل المكتبة الذي يمكن اعتباره أحد الكتب الموضوعة على الرف في المكتبة ذاتها، أو لنأخذ كلمة «قاموس» في القاموس، أو الرب الذي يقول «أنا أكون الذي أكونه»، أو فهرس كتاب يشتمل على الفهرس، أو حتى...

رسل: أنا أعرف. لكن دعنا نعتبر بدلا من ذلك كل الأشياء الأخرى، ونرمز بالحرف A لفئة كل تلك الفئات التي ليست عناصر في نفسها. ودعني أسألك الآن هذا السؤال: هل هذه الفئة A تنتمي لنفسها؟

فريغه: دعنا ننظر في هذا الأمر. فلن يكون صعبا. افترض أنها كذلك، أي أن الفئة Aتنتمي إلى A. عندئذ تكون عناصر A، وفق التعريف، هي تلك الفئات التي لا تنتمي إلى نفسها. وبناء عليه، بفرض أن الإجابة عن سؤالك هي «نعم»، يكون لدينا تناقض، إذن يجب أن يكون الجواب «لا».

(*) نشر فريجه هذا الكتاب العام ١٨٧٩، وبعده بخمس سنوات نشر كتابه «أسس علم الحساب»، ثم نشر كتابه «المبادئ الأساسية لعلم الحساب» في جزأين عامي ١٨٩٣ و١٩٠٣ [المترجمان].



رســــل: هل أنت متأكد؟

فـريـفـه: إذا أجبت بـ «لا»، فهذا يعني أن A لا تنتمي إلى A. ولكن عندئذ، من واقـع تعـريف A، ينتج أن A «تنتـمي» إلى A. يا إلهي، أنت على صواب حتما! لا يهم أي المسارات تختار، فأيهما يؤدي إلى تناقض. هذه مفارقة، فماذا أنا قائل؟ معضلة كارثة! إنه مبدأ الوسط المرفوع أو الثالث الممتنع الذي استدعاه سؤالك على الرحب والسعة. لكن هذا مستحيل، ونحن لا نستطيع أن نرفض هذا المبدأ، لأنه لن يكون بعده منطق، وكل الفكر سوف ينهار.

رســــل: أنا لا أرى سوى مخـرج واحد: أن تلغي كل ما قلته في الماضي وتنقضه، وتبدأ كل شيء من جديد.

فـريـفـه: (بعـد أن فكر برهة): ليس هناك حل آخـر. لقـد تشظى مشروعي العظيم لإعادة بناء الرياضيات إلى شظايا، وذلك في اللحظة ذاتها التي اعتقدت فيها أني نجحت! لكن لتعرف أن ما اكتشفته أنت مدهش حقا وغير عادي. أهنئك! إنها فترة ألتقي بعدها بأمر بالغ الأهمية! (يغادر وهو يمشي مترنحا، مبتسما، يحدث نفسه).

رســــل: (يراقب فريفه في أثناء مغادرته): ياله من دليل على التكامل الفكري! نعمة عظمى وفضل كبير! لم أر قط أحدا يتقصى الصدق والحقيقة بأمانة مثلما فعل. كان على وشك أن يبلغ الذروة أخيرا، ويجني ثمار السعي الذي بذله طوال حياته، وهو الذي طالما كان يتجاوز عن أشياء لمصلحة آخرين لا يستحقونها.. لم يعبأ، وعندما يحاط علما بأن واحدا من أهم فروضه الأساسية غير صحيح، كيف يكون رد فعله؟ تتغلب سعادته الفكرية على إحباطه الشخصي. إنه السمو والعلو على الطبيعة البشرية. أي قوة داخلية يستطيع أن يستجمعها إنسان إذا كرس حياته كلها للعلم والإبداع، قبلما يقضيها في البحث سدى عن مظاهر الحفاوة والشهرة! يا له من درس! (*) (يغادر هو الآخر).

(*) هذه هي الكلمات نفسها تقريبا التي استخدمها رسل في رسالته إلى جان فان هيجينورت J.V. Heijenoort، حيث يتحدث عن فريفه [المترجمان].



جـــوقـــة

المنشـــدين: المعبد... يهتز ويتصدع. هل هذا زلزال؟ المفارقات تتكدس. الكذاب الأقريطي يعود إلى الوعي. هناك أيضا مفارقة ريتشارد ومفارقة برالي-«فورتي Burali - Forti، إلى جانب مفارقة رسل. هل سنصبح موضع سخرية الناس، عندما يتضح أن جملة مكونة من إحدى عشرة كلمة تكفي لتعريف «أصغر عدد، ذلك الذي يستحيل تسميته بأقل من اثنتي عشرة كلمة»؟ هل المنطق مجرد وهم؟

هيلبـــرت: (يدخل الغرفة): لتهدأ من فضلك، ولا تفزع. تأمل تلك المفارقات المخيفة تجدها جميعا متشابهة وتحمل السمة نفسها المتمثلة في اعتبار الكل بمنزلة جزء. فدليل المكتبة هو قائمة تشمل «كل» الكتب. الإقريطي يقول إن «كل» الإقريطيين كذابون. جملتك ذات الإحدى عشرة كلمة تشير إلى «كل» التعريفات الممكنة للإعداد. هذه الرواية توضح أمرا واحدا فقط: أن فريغه لم يذهب في جهوده إلى الحد الذي يكفي لـ «صورنة» الرياضيات، أي جعلها صورية. لقد اعتقد أنه يستطيع الوثوق في حدسه الصافي، ولو بقدر يسير، في ما يتعلق بالفئات. لقد كانت هذه هي غلطته الوحيدة، ومن واجبنا أن نصوبها. من الآن فصاعدا سوف يكون كل من المنطق والرياضيات صوريا بالكلية. (يغادر ويتبعه زيرميلو المستغرق في التفكير والذي سوف يتبنى الهدف الذي حدده هيلبرت).

مبرهنة عدم الاكتمال لغودل

لا يحدث غالبا أن حادثة تتعلق بالرياضيات تصل إلى العالم الخارجي وتصيبه بالحيرة. لكن هذا هو ما حدث بالضبط في ثلاثينيات القرن العشرين مع مبرهنة غودل التي عالجت العقل الإنساني بنفحة من الإخضاع.

ما الحكاية إجمالا؟ كان كورت غودل Kurt Gödel أحد تلاميذ ديفيد هيلبرت ومريديه، وكانت دراسته في أحد المشروعات الكبرى لتوضيح اتساق بديهيات الحساب، ومن ثم التثبت نهائيا وعلى نحو حاسم، من أن هذا الفرع من الرياضيات على الأقل محصن إلى الأبد ضد التناقضات الداخلية. لقد استطاع هيلبرت أن يعيد صياغة القول الروماني المأثور، فأصبح قادرا على المجاهرة: «إنني هنا أبني نصبا تذكاريا خالدا إلى الأبد».



لقد صيغ نسق هيلبرت الأكسيوماتيكي للحساب في حدود رموز وعلامات (كما أوضحنا من قبل) تشمل العمليات العادية: الجمع والطرح (كلما تكون النتيجة عددا طبيعيا)، الضرب، والقسمة مع وجود باقٍ، والعمليات الأسية. إن الخصائص الأساسية للأعداد الطبيعية ولهذه العمليات الحسابية قد اقتضتها البديهيات الضرورية. ومن ثم فقد أخذ هيلبرت في اعتباره فئة جميع القضايا (حول الأعداد الطبيعية) التي يمكن التعبير عنها بلغة صورية. وكانت المسألة تكمن في توضيح أن كل قضية من هذا النوع لها، على الأقل من حيث المبدأ، قيمة صدق ناتجة عن برهان - أي ناتجة عن سلسلة متناهية من تضمُّنات منطقية مصدرها البديهيات.

بيّن غودل أنه بالإمكان فعلا توضيح قيمة صدق لقضايا معينة دون المرور عبر برهان (صوري)، وإنما فقط بمساعدة نظرية أعلى في المستوى ومزودة بلغة ما بعدية (وهو التصور الذي ناقشناه من قبل). لقد أجاب عن سؤال هيلبرت، وإن لم يكن بالطريقة التي توقعها الأخير.

في حقيقة الأمر، كان العمل الفذ الذي أداه غودل هو أن يبين وجود قضايا صادقة (من منظور اللغة المابعدية)، لكن يستحيل إثبات صدقها ببرهان (صوري) متناهي الطول (ومن ثم فإن «بدهنة» الحساب تكون «غير كاملة» incomplete). وعلى هذا إذا كان الرياضي لا يقبل إلا ما يمكن البرهنة منطقيا من البديهيات على أنه صادق، فستكون هناك بعض القضايا التي سوف تبقى (بالنسبة إلى المرء) إلى الأبد غير قابلة للفصل فيها، لأنه لا يمكن إثباتها ولا دحضها.

يمكن فهم نتيجة غودل بسهولة إذا استخدمنا مرة ثانية مماثلة الصدق الآتي من المصدر (البديهيات) صوب الأشجار (القضايا). عندئذ يخبرنا غودل أن غابة الأشجار كلها لا يمكنها أن تُروى عن طريق شبكة قنوات متناهية الطول، وأن الوصول إلى قضايا معينة يتطلب مسارا طويلا بلا نهاية. وبعد هذا كله، لا يوجد في الحقيقة ما يدعو إلى الدهشة في هذه النتيجة، أو ربما في منطق الدعوى بأن العقل البشري أصيب بضربة. يجب أن نقبل وجود مشكلات غير قابلة للحل، وهي قد تكون عديدة. لكن كم من هذه المشكلات واجهناه فعلا؟ أقل القليل فقط. ما سبب الدهشة من أن تكون كل قضية إما صادقة أو كاذبة على وجه اليقين، مع أن عملية البرهان البطيئة لا تستطيع دائما أن تقرر أيا من النتيجتين؟ ألا يبدو أن العكس قد يكون



غريبا؟ الأمر الأكثر خطورة هو اللايقين في ما يتعلق باتساق الحساب. وكل ما في الأمر أننا لا نعلم أنه لا يوجد تناقض يتسلل من وراء ستار البديهيات. ولكن ألا يكون هذا هو الثمن الذي ينبغي دفعه من أجل محصلاتها الوفيرة السخية؟ مرة ثانية، الأمل الجنوني لطموح الإنسان، أو الحلم ببناء خالد خلود الأبدية، قد واجه خصمه الرهيب. وهذا هو ما ينبغي أن يكون.

وباعتبار جميع الأحوال وكل الأشياء، تكون مبرهنة عدم الاكتمال لكورت غودل في حقيقة الأمر مأثرة الذكاء البشري. لكنها في الوقت نفسه تؤسس حدودها من دون أن تحطم إنجازاتها أو تفسدها. إنها فقط تُذَكِّر الفكر والعقل الإنسانيين بأنهما هما الآخران عرضة للفناء.

خلاصة أولية

يبدو مؤكدا الآن أن الرياضيات هي علم علاقات على نحو صارم، ومثل هذه العلاقات الموجودة في موضوعات عدة لا تلزم الرياضيات بأشياء معينة. وعلى الرغم من أن الرياضيات تُستخدم كأداة، ولغة، وإطار في بعض العلوم الفيزيائية، وفي الفيزياء على وجه الخصوص (*)، فإنها في حد ذاتها لا تحمل أي معنى، فكل علم فيزيائي، عندما يُرى من خلال منظار الرياضيات، يشترط لغته البعدية الخاصة به والتي تأتي بمعنى معين. ويستطيع المرء أن يعبر عن هذا الأمر على نحو أعم بالقول إن الرياضيات لا تستطيع أن تساعدنا على إيجاد المعنى الحقيقي في علم صوري، فالمعنى يجب أن يكون موجودا في ذلك العلم نفسه. هذا الدرس سوف يكون أساسيا عندما نواجه أجراف ميكانيكا الكوانتم.



(*) يفرق المؤلف هنا بين الفيزياء والعلوم الفيزيائية، ولعله يقصد بالأخيرة بعض العلوم البينية التي يتجاذبها، إلى جانب الفيزياء، علم آخر أو أكثر، مثل الفيزياء الرياضية والفيزياء الفلكية وغيرهما. وإن كنا أيضا نعتقد أن الفيزياء نفسها هي مجموعة من العلوم الفيزيائية مثل الفيزياء الذرية والديناميكا الحرارية والبصريات وغيرها [المترجمان].



6

فلسفة الرياضيات

سوف نقوم الآن بدراسة المسألة الخاصة بمعنى الرياضيات. وعلى وجه التحديد، سوف نصغي السمع إلى فلاسفة ورياضيين وهم ينزعون إلى جعل فكرهم في هذا العلم فكرا فلسفيا. أما عن أي من إجابات هذين الفريقين يمكن المصادقة عليها أو رفضها، فإن هذا يظل قيد الفحص والاختبار.

ما الرياضيات؟

ما الرياضيات، هذه الثمرة الغريبة للعقل والفكر، من أين جاءت. وما طبيعتها؟ هذا السؤال قديم قدم الموضوع نفسه. لكنه لا يستهوي في العادة إلا عددا قليلا من الفلاسفة والرياضيين. مَنْ غيرهم يعنيه الأمر؟ لا أحد. لكن مادمنا معنيين بالخاصية الصورية للعديد من تفسيرات الطبيعة وأسرارها، فسوف نلقي نظرة عن كثب. ماذا لو اختفت الرياضيات وهي أحد مفاتيح المعرفة؟ وهل كان القول المأثور «لا يدخل علينا

«إذا خلّينا جانبا، بكل أسف، جمال الرياضيات الذي لا يمكن حصره في كلمات، فإن الخصائص المميزة للرياضيات تتمثل في: خصوبتها، وحقيقة كونها نتاج العقل الإنساني وفاعليته، وإمكان اختزالها إلى رموز، وتناظرها الكبير مع الواقع»

المؤلف



من لم يلم بعلم الهندسة» يعني، بشكل لم يتوقعه أحد، أن الممر الملكي المؤدي إلى الفلسفة يبدأ بالسؤال المذكور أعلاه؟ فمن ذا الذي يكون على استعداد إذن لأن يتجاهله؟

غالبا ما يُنظر إلى الرياضيات على أنها مقيمة في عالم علوي يغمر نورٌ تام. هذا هو رأي أفلاطون، ونيقولا القوساوي (*) أيضا، من بين آخرين كُثر. كان من الممكن إذن الاعتقاد بأن البراهين التي يتوصل إليها الرياضيون، تلك النماذج المكتملة للصدق الذي نبلغه عبر طرق ممهدة آمنة ومظفرة، إنما تستمد قوتها من فضل علوي؛ وهو فضل يجب التعامل معه باحترام، كما أنه يطبق على مجالات أخرى بنجاح. وهكذا كانت الرياضيات مستخدمة كنموذج وكأفكار موحى بها في قطاع كبير من اللاهوت عبر الفلسفة القديمة والعصر المدرسي الوسيط، وبلغت أوجها مع القديس أوغسطين وتوما الأكويني. ويعطينا سبينوزا أكثر الأمثلة إثارة ولفتا للأنظار. ففي كتابه «الأخلاق» (**) ينتج صدق القضايا عن قوة الحجج التي تساق تباعا «على طريقة أهل الهندسة»، أو على الأقل هكذا يزعم المؤلف ويسود فلسفة ليبنتز أيضا اتجاه مماثل، وهو بالمناسبة معجب بسبينوزا ومن مريديه.

هذا النوع من القرابة والنسب يوحي بأن السؤال عن طبيعة الرياضيات يمكن أن يختلط أحيانا مع أسئلة أخرى أكثر إغراء للفيلسوف. والحق أنه من الصعوبة بمكان فصل هذا السؤال تماما عن أسئلة متعلقة بسمات العقل وقدراته، أو بوجود نظام وترتيب في الطبيعة. خلاصة القول إن السؤال أهم كثيرا مما قد يبدو في الوهلة الأولى، وهو يقينا أكثر صعوبة.

أي محاولة لتعريف الرياضيات ميئوس منها، لأنها إما أن تساوي ما هو معروف بالفعل، أو تشبه عملية جذب الانتباه لمعالمها الخارجية فقط. أما اللجوء إلى الأصل اللغوي والمعنى الاشتقاقي للكلمة فلا طائل من ورائه أيضا، إما لأنها لن تأتينا إلا بمعانٍ معروفة تماما ومفهومة جيدا، أو ربما تعرفنا

(*) نيقولا القوساوي (١٤٠١ - ١٤٦٤) ولد بمدينة قوسا من كاردينالات ألمانيا. كتب في اللاهوت وفي الرياضيات. أرجع ضعف العقل إلى مبدأ عدم التناقض الذي ينفي اتصاف الشيء الواحد بصفتين متناقضتين، لذلك فهو يقول بمبدأ توافق الأضداد [المترجمان].

(**) العنوان الكامل لهذا الكتاب هو «الأخلاق مبرهنا عليها بالطريقة الهندسية» أو بطريقة أهل الهندسة، بدأ سبينوزا العمل فيه منذ العام ١٦٦٢، وأصبح معدا للنشر العام ١٦٧٥، وهو مؤلف من خمسة أجزاء: في الله، في طبيعة العقل وأصله، في طبيعة الانفعالات وأصلها، في عبودية الإنسان أو قوة الانفعالات، وفي حرية الإنسان أو قوة العقل [المترجمان].



فقط بمبادئ سك المصطلح mathesis (*). لهذا سوف نبدأ بذكر بعض الخصائص الأكثر جذبا للاهتمام، وهي سوف تفيد في تقييم نظريات فلسفية متنوعة، لأن العديد منها لم يوفق في أخذ هذه الخصائص أو بعضها في الاعتبار، في حين أن أي فلسفة مرضية للرياضيات ينبغي أن توضح الخصائص كلها وتبين أسبابها.

أول خاصية أو سجية للرياضيات، وهي جمالها، تأتي غالبا في المقدمة. إنه جمال غريب نوعا ما، لا يعرفه إلا أولئك الذين يقتربون منه بدرجة كافية (ولكن ألا يصح هذا بالنسبة إلى أي جمال؟)، ولا يمكن وصفه بلغة غير لغته الخاصة به. ولا يتأثر بلغة الشعر. والحق أنه جمال مطمور أحيانا في تناغم وانسجام القضايا، أو في الأشكال الأنيقة لعمل من الأعمال الفنية. وتبعا لبرتراند رسل، الرياضيات لا تمتلك الصدق فقط، وإنما تتمتع بجمال أسمى، قد يكون قاتما أو باردا إذا ما قورن بجمال النحت والتماثيل (**). إن الشعور بالسعادة الغامرة والحيوية البالغة، والإحساس بكينونة أكثر إنسانية، يمكن أن يلاقيه المرء في الرياضيات تماما مثلما يمكن أن يجده في الشعر. بل إن أفلوطين قبل سنين عديدة، ذهب إلى أبعد من هذا بكثير، والتفت بمجامعه إلى هذا التأويل. إن جمال تمثال، كتمثال زيوس مثلا، يبلغ الكمال عندما ينجح الفنان في أن يترجم في المرمر بعض ما تحمله ماهية هذا الإله وصورته وبالروح والنبرة أنفسهما، ربما يقول أحد أتباع الأفلاطونية المحدثة في عصرنا هذا إن فلازكيز أو مونيه قد استطاع الواحد منهما الإمساك بقبس من ماهية النور (***). بالنسبة إلى أفلوطين، فإنه قدم جمال الرياضيات وفلسفتها كأفضل نموذج ممكن لصب قطعة من القطع الفنية.

وخصوبة الرياضيات سمة أخرى من سماتها الهامة، وهي الخاصية التي حاولنا التأكيد عليها في الفصل السابق. لكن، هل الخصوبة fertility مصطلح مناسب؟ ربما تكون الوفرة profusion هي الكلمة الأفضل لوصف غزارة هذا

(*) هذه الكلمة الإغريقية mathesis هي الأصل الجذري الاشتقاقي لمصطلح mathematics وهي اسم يعود إلى فعل يفيد التعلم والمعرفة، أي الرغبة في المعرفة وحصول التعلم [المترجمان].

(**) أخطأ المؤلف هنا، إذ لا يكون هذا أساسا تبعا لبرتراند رسل ومدرسته المنطقية، بل يكون تبعا لهنري بوانكاريه ومدرسته الاصطلاحية، التي جعلت الجمال معيارا من المعايير الميثودولوجية للفرض العلمي والنظرية العلمية. إن النظرية الاصطلاحية أو الأداتية في فلسفة العلم تعول كثيرا على استطيقا العلم أو جمالياته [المترجمان].

(***) دييغو فلازكيز (١٥٩٩ - ١٦٦٠) Diego Velasquez رسام إسباني عبقري، أما الرسام الفرنسي كلود مونيه (١٨٤٠ - ١٩٢٦) Claude Monet فيعد من أهم مؤسسي المدرسة الانطباعية [المترجمان].



السيل الجارف المتسع باتساع البحر، الذي يضاهي ميلاد العالم وفقا لما هو مروي في مهاباراتا (*). لقد اخترت هذه المماثلة تحديدا عن قصد وعمد لأن الرياضيات لها مائة ذراع وألف ثدي، ومما يثير الغيظ والغضب أن تراها اختزلت من جانب قصار النظر والمتسمين بقلة التبصر والتمييز إلى شيء هزيل ضئيل القيمة. هذه الخصوبة المستدامة تعتبر بكل وضوح سمة أساسية من سمات طبيعة الرياضيات، بحيث إنها تثير الرغبة في اكتشاف ما يجعلها ممكنة.

ثمة ثلاث خصائص أخرى مميزة للرياضيات سبق ذكرها. الخاصية الأولى هي صلتها الوثيقة جدا بالمنطق بحيث يستحيل معرفة أين يبدأ أحد العلمين وأين ينتهي الآخر. الخاصية الثانية هي إمكان اختزال الرياضيات إلى مجرد تناول للرموز، وهي بهذه الصفة تحرر نفسها تماما من أي واقع عيني. في حقيقة الأمر، لا شيء يمكن إزاحته بسهولة أكثر من العالم الواقعي، ومع ذلك فإن الواقعية هي التي زودت الرياضيات بحوافزها ودوافعها الأولية. إنه التجريد في أقصى صوره (يجرد، ينتزع، يجتث، يستأصل من الجذور). هذا التجريد يجتث الرياضيات من الواقع الفيزيائي منذ ظهور الهندسة الإغريقية. وعلى الرغم من كل ذلك، تأتي الخاصية الثالثة للرياضيات هي الأخرى لكي تحافظ على الاتصال الجوهري بالواقع، بمعنى أن العلوم الطبيعية، والفيزياء على وجه الخصوص، لا تستطيع أن تؤدي دورها من دون لغة الرياضيات ومفاهيمها. وأخيرا، لنذكر إحدى السمات التي لا ينبغي أبدا إغفالها حتى ولو كانت عادية جدا، ألا وهي أن الرياضيات تعتبر نتاج العقل، والإنسان الذي يعيش في مجتمع هو الذي أبدعها.

وإذا خلّينا جانبا، بكل أسف، جمال الرياضيات الذي لا يمكن حصره في كلمات، فإن الخصائص المميزة للرياضيات تتمثل في: خصوبتها، وحقيقة كونها نتاج العقل الإنساني وفاعليته، وإمكان اختزالها إلى رموز، وتناظرها الكبير مع الواقع. وداخل هذا الإطار يكون من المناسب أن تصنف فلسفات الرياضيات إلى قسمين: الفلسفة الأنطولوجية والفلسفة السوسيولوجية. أما الأولى فتعنى بالكيفيات الذاتية (الداخلية) التي أخذتها الرياضيات من دون سواها في الاعتبار؛ أما القسم الثاني فإنه يسعى إلى فهم الرياضيات داخل محيط إنساني، أي في إطار الظروف التي في ظلها شيد الإنسان صرح الرياضيات العظيم.

(*) مهاباراتا Mahâbhârata ملحمة هندية حول آلهة الهند القديمة، مكتوبة منذ ما قبل الميلاد باللغة السنسكريتية في حوالي مليون ونصف مليون كلمة، وهي من نصوص الديانة الهندية [المترجمان].



الواقعية الرياضية

تؤكد أقدم النظريات الفلسفية، التي لا تزال مزدهرة حتى اليوم، أن هناك عالما مختلفا عن الواقع العيني تنتمي إليه حقائق الرياضيات على نحو تام. كان أفلاطون أول من اقترح هذه النظرية، وهذا العالم الآخر كما جاء في صياغة أفلاطون هو عالم المثل. هذه الوجهة من النظر، التي يعود أصلها إلى فيثاغورث، تعرف باسم «الأفلاطونية Platonism». يفضل آخرون اسم الواقعية الرياضية • mathematical realism للتأكيد على الفرض الجذري لوجود واقع منفصل. ولسوف نستخدم هذه التسمية الثانية لتحاشي أي لبس أو غموض.

كانت الواقعية الرياضية هي التي أوحت بفقرة من التأمل الخامس من تأملات ديكارت، ورد ذكرها من قبل وتستحق الإعادة هنا: «حينما أتخيل مثلثا، حتى لو كان وجود مثل هذا الشكل مستحيلا في أي مكان في العالم، اللهم إلا أن أجده في عقلي، وهو لم يوجد أبدا، فإنه على الرغم من ذلك يبدي طبيعة معينة، أو صورة أو ماهية محددة لهذا لشكل ثابتة وأبدية، ولم أستحدثها أنا، فضلا عن أنها لا تعتمد على عقلي بأي شكل من الأشكال؛ ويبدو أن هذا هو الوضع ما دام المرء يستطيع أن يثبت خصائص معينة لهذا المثلث».

ويقول هيرميت عين هذا أساسا وذلك في خطابه إلى ستيلجز: «أعتقد أن الأعداد ودالات التحليل ليست اختيارا تحكميا من قبل عقولنا، وأحسب أنها موجودة بصورة مستقلة عنا بنوع الضرورة نفسه التي أوجدت الأشياء في الواقع الموضوعي، والتي نجدها ، أو نكتشفها، بالطريقة نفسها التي يتبعها الفيزيائيون أو الكيميائيون أو المختصون بدراسة علم الحيوان».

وقد عبر برتراند رسل نفسه، وهو يقينا ليس مبتدئا في الموضوعات الفلسفية، عن الفكرة نفسها عندما كتب يقول (*) إن العدد ٢ يجب أن يكون كيانا يمتلك واقعا أنطولوجيا حتى وإن لم يكن موجودا في أي عقل. ويقول إن المعرفة هي بالضرورة إعادة معرفة، وإلا فإنها لن تكون سوى وهم. لقد اعتقد أن الحساب يجب أن يُكتشف، تماما كما اكتشف كولومبس جزائر الهند الغربية. إن العدد ٢ ليس مجرد إبداع ذهني خالص بل هو كيان يمكن أن يكون موضوعا

(*) في كتابه «أصول الرياضيات». كما ذكرنا في التصدير هذا العمل الهام ترجمه إلى العربية د. محمد مرسي أحمد ود. أحمد فؤاد الأهواني [المترجمان].



للفكر. وتبعا لرسل، كل ما هو خاضع للفكر هو واقع أنطولوجي، مهيأ لذلك الفكر سلفا، وليس نتيجة له. أما بالنسبة إلى وجود موضوعات الفكر، فإنه لا يمكن استخلاص أي شيء من حقيقة مفادها أنها فكر، لأنها يقينا ليست موجودة في الذهن الذي يفكر فيها. والخلاصة أن رسل يؤكد أن الموضوعات التي نتصورها أو نتمثلها ذهنيا لا تتمتع بأي نوع خاص من أنواع الواقعية (*).

وبالنسبة إلى جان ديودنيه J. Dieudonné (**) فمن المؤكد أنه «يصعب جدا وصف أفكار الرياضيين التي تختلف من شخص إلى آخر»، على أنه يضيف: «إنهم يقدرون عموما أن الموضوعات الرياضية لها واقعية مميزة عن الواقعية الحسية، ربما تماثل الواقعية التي كان أفلاطون ينشدها لأفكاره».

ويعترف ألان كونيه A. Connes (***) قائلا: «أعتقد أن وضعي ليس بعيدا عن وجهة النظر الواقعية. بالنسبة إلي، يمثل تتابع الأعداد الأولية، مثلا، واقعية أكثر استدامة من الواقعية المادية التي تحيط بنا.... والنسق الأكسيوماتيكي يسمح للرياضيين بأن يغامروا في ما وراء المناطق المألوفة.... إن الواقع الرياضي يمتلك فعلا اتساقا أسمى من أي اتساق يتميز به الحدس الحسي، وبتساوق لا يمكن تفسيره من دون الاعتماد على منظومة تفكيرنا».

(*) ليس من الدقة أن نتحدث عن رأي خاص لرسل على هذا النحو الذي يتحدث به المؤلف، لأن فلسفة رسل كانت دائمة التطور والتغير، فلا يكون الرأي إلا في إطار مرحلته المعينة، وهذا الرأي طرحه رسل في المرحلة الواقعية الساذجة من فكر رسل التي بدأت ببداية القرن العشرين وانتهت بانتهاء الحرب العالمية الأولى وظهور النظرية النسبية. انظر في تفصيل هذا: يمنى الخولي. جدل المثالية والواقعية في التصور الأنطولوجي للعالم عند برتراند رسل، في: مجلة عالم الفكر، المجلد الثلاثين، العدد الأول، المجلس الوطني للثقافة والفنون و الآداب، الكويت، يوليو - سبتمبر ٢٠٠١ . ص ٧ - ٥٠.
وربما يبدو أن ما يعنيا في السياق ليس تطور فكر رسل في حد ذاته. بل هذه الرؤية لطبيعة الكيانات الرياضية، التي تعني أن لها وجودا واقعيا مستقلا عن أذهاننا، وليس تستمد وجودها من أننا نفكر فيها. وفي هذا نلاحظ أن أهم ما في الأمر أن تلك الواقعية الرياضية قد لاقت أعنف ضربة قاصمة من إنجاز برتراند رسل العظيم التالي لهذا - برفقة وايتهد - في «برنكبيا ماتيماتيكا» أي إثبات الخاصية التحليلية للرياضيات وأنها امتداد للمنطق ومحض قضايا تكرارية تحصيل لحاصل. لقد عد هذا الإنجاز من أعظم إنجازات القرن وارتفع لواؤه واشتهر كثيرا. وترتبت عليه نتائج مهولة منها ما يتعلق بظهور وتطور الكمبيوتر... والواقع أن قيمة هذه المناقشة من رولان أومنيس هو توضيحها كيف أن وجهة النظر الأخرى، أي الواقعية مازال لها وجودها وحيثياتها، لتظل قيمة الفلسفة دائما في قدرتها على طرح الرأي والرأي الآخر. وسوف يضطر أومنيس اضطرارا إلى العروج على رأي تطور رؤية رسل في سطور مقبلة لأنها مسألة بالغة الأهمية والحيثية [المترجم].
(**) في مقدمة عمله:
abrégé d'histoire des mathématiques (paris: Hermann, 1978. [المؤلف].
(***) انظر:
Jean-Pierre Changeux and Allan Connes, Matiére à pensée (Paris: Odile Jacob, 1989) [المؤلف].



وتوجد أدلة كثيرة داعمة لوجهة نظر الواقعيين: كلهم تقريبا رياضيون مبدعون، ويعلمون جيدا الإحساس المألوف، والمتجدد دائما، بعملية الاكتشاف الذي يتحدثون عنه. وثمة أيضا ذلك الذي أسماه كونيه التساوق coherence الذي يميز الصورة الرياضية عن صورة أي فن آخر، إن الرياضيات في أبديتها الأزلية ، منذ مبرهنة فيثاغورث حتى أحدث نظرية، تمتلك وحدة كاملة تقريبا، إنها تشبه قطعة عمل مفردة، أكثر كثيرا من ان تشبه ضم آلاف الأجزاء معا. هذا التساوق يمكن أيضا أن يتخذ صورة انسجام تام بين السؤال الذي يطرحه المرء والإجابة التي يتوقع أن يجدها؛ أو يتخذ شكل التعميم الذي يحوِّل مبرهنة سليمة إلى نظرية قوية فعالة؛ أو حتى يكون حاضرا في كل مكان من صرح التماثلات التي تتكرر وتدعم نفسها بألف طريقة وطريقة. وأيضا يثبت التساوق نفسه عندما تتشكل على حين غرة بنيات جديدة، من إبداعات تبدو اختيارية تحكمية. وتؤكد هذه البنيات خصوبتها على نحو مدهش: توزيعات (استغراقات)، فراغات مترية (قياسية)، فراغ هيلبرت أو فراغ بناخ Banach. هذه الأمثلة تبين أيضا، لسوء الحظ، الصعوبة التي يلاقيها الرياضيون في الربط بين ما يرونه، إنهم في حقيقة الأمر لا يرون إلا العجائب التي تروق لهم ويعلمون أنها تبهجهم كثيرا؛ وبالنسبة إلى آخرين، من غير المبتدئين، فيجب عليهم أن يتعاملوا مؤقتا مع الصورة المبسطة والباهتة التي تلمع بنظرة خاطفة من بين ثنايا وصف يقدمه رياضياتي.

لا يشك الواقعيون أبدا في أنهم يتقدمون على أرض صلبة موجودة دائما، وأنهم يستكشفونها فقط. ومقاربتهم في هذا تشبه إلى حد ما استكشاف غابة بكر برية وكثيفة. أحيانا يصل المستكشفون إلى أرض واسعة مقطوعة الشجر في هذا الدغل، ولكن التقدم لا يحدث في العادة إلا من خلال دليل، ويكون بطيئا متدرجا وغالبا ما يكون زحفا؛ توخيا للسير الآمن في كل خطوة. إن الرياضياتي يتقدم في العمل مركزا نظره على الأرض، وهو يعلم أن بعض الحقائق الممتازة لن يمكن الوصول إليها إلا بعد رحلة طويلة، وأن المشهد من ذروة هذه الحقائق يبدو رائعا ويمتد على طول المدى إلى الأفق. وعلى هذا النحو تخيل سبينوزا معرفة من «النوع الثالث»، ليعلو بها على تلك المعرفة المجتناة من خلال البرهان المتأني، التي هي مجرد معرفة من «النوع الثاني».

كل أولئك الرجال والنساء قضوا أعمارهم يسجلون انطباعاتهم وملاحظاتهم: وجود المحتوى الهائل الذي اكتشفه جزئيا كل واحد منهم؛ بهجة ملامسة أجمة من أجمات الحقيقة؛ صلابة البقاع وشبكة اتصالاتها-التساوق.... إنهم، مثل

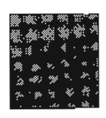


الصوفيين، يتحدثون عن آفاق أخرى يتأملون فيها بحار الضوء. ههنا إذن قد يتسرب إلى المستمع شك وارتياب: هل تراهم انخدعوا بالسراب فقط، أم احتال عليهم وضللهم العقل المغرور كثيرا بقدرته، أم استحوذ عليهم حلم ثقيل الوطأة حتى يبدو أشد واقعية من الواقع؟ هذه هي الأسباب التي أدت بالشكاك إلى نبذ الواقعية الرياضية باعتبارها صورة مخففة من صور مذهب الإشراق illuminism (*).

يمكن الرد على مثل هذا النوع من الاعتراضات بمعونة من التاريخ، وهو العامل الموضوعي الوحيد في الأمور التي تعنى بالعقل. ومن المهم أن نستمع مرة أخرى إلى ألان كونيه عندما يقرر أن التساوق الذي يتصوره الرياضيون مستقل عن أي آلية معينة من آليات التفكير المتعقل. وبصياغة أكثر جلاء، يمكننا القول إن الرياضيين جميعا متفقون في التعرف على خصائص المنطقة المكتشفة نفسها بصورة مستقلة عن المسارات التي اتبعوها.

على سبيل المثال، سوف نعود إلى تاريخ التحليل بين القرنين السابع عشر والتاسع عشر. في هذه الفترة، كان متاحا عدد كبير من النتائج المدهشة، على أن ضعف أساساتها قد أزعج العديد من الرياضيين. وفي أعقاب ذلك جرى الاضطلاع ببرنامج ضخم للمراجعة والنقد، لا نظير له في تاريخ الأفكار. وكان للهجمات العنيفة التي شنت على الفلسفة اللاهوتية بعد نهاية العصر المدرسي الوسيط تأثير أشبه بتأثير ضربات بسيطة غير مؤذية على ظهر اليد، مقارنة بالعنف البالغ الذي أظهره الرياضيون إزاء مسكنهم، حيث كان ينبغي أن ينهار البناء بأكمله فلا يبقى منه إلا أطلال دوارس وبقايا متناثرة. ماذا حدث عوضا عن ذلك؟ لقد استعاد الصرح العظيم صلابته وفخامته، وأصبح أعلى ارتفاعا وأكثر رحابة عن ذي قبل، والتأمت الشقوق القديمة وتم ترميم مواطن الضعف. وفوق هذا كله، تغير من نواح معينة كل شيء تقريبا، فحلت البديهيات محل الحدس، وعكست الآن نظاما وترتيباً جديدا، تغيرت مناهج الاستدلال، على أن اتساق النتائج، القديمة والجديدة، يتبدى الآن ذا قيمة وجمال، وتجلى أكثر إحكاما.

(*) مذهب الإشراق illuminism مذهب معرفي يقوم على نزعة صوفية، فيرى أن المعرفة تحدث عن طريق الذوق والكشف الروحاني وليس فقط عن طريق القياس والاستدلال. حيث إن مصدرها الإشراق، أي نور يشرق في النفس، وهو ضرب من الحدس الذي يربط الذات العارفة بالجواهر النورانية. يمكن أن نجد المذهب الإشراقي عند القديس أوغسطين في الغرب، على أن أشهر أعلامه هو السهروردي المقتول في الشرق الذي حكم عليه بالإعدام العام ٥٨٧هـ /١١٩١م في زمن صلاح الدين الأيوبي لاتهامه بالزندقة والإلحاد. وتعد أعمال السهروردي وفي طليعتها «هياكل النور» و«حكمة الإشراق» و«رسالة في اعتقاد الحكماء» من أهم مصادر الفلسفة الإشراقية [المترجمان].



يلاقي الرياضيون باستمرار هذا النوع من الدروس في سياق عملهم البحثي، ويتولد لديهم الانطباع بأن ما يجدونه ليس بالضرورة أن يكون هو ما يتوقعونه، بل الأحرى هو ما تفرضه قوة الظروف، مع كل الضرورة والحاجة الملحة لعالم مستقل بوجوده.

تعزى الاعتراضات الموجهة ضد الواقعية الرياضية أساسا إلى الأفكار المتصورة أو المكونة سلفا عن طبيعة الواقع. على أن هذه التصورات المكونة مقدما تبدو أقل إقناعا عندما تواجهها صورة الواقع المنقولة بواسطة الفيزياء الحديثة. ولسوف أقتصر على مثال واحد. نشر الفيلسوف أندريه داربو A. Darbon كتابا خصصه لنظريات رسل «اللوجسطيقية» (*)، يزخر بأفكار ومعلومات قيمة (**). ولسوء الحظ، راح في الفصل الأخير يهجو واقعية رسل الرياضية، واصفا إياها بالصبيانية والحمق. وفي الوقت نفسه يدعم حجته باعتبارات علمية مهيبة تنم عن علم غزير، وبين هذا وذاك، يسلم داربو جدلا باستحالة وجود اللامتميزات indiscernible – من حيث المبدأ – وهو في هذا يأخذ ليبنتز في صفه (***). على أن الفيزياء التجريبية قبل عشرين عاما قد دحضت هذا الوضع تماما. يكشف هذا المثال عن عنصر يعاود الظهور مرارا وتكرارا في نقد الواقعية الرياضية. إنه وجود أنطولوجيا متصورة سلفا، وهي ليست مدعاة للاعتقاد أكثر من تلك التي يحاولون رفضها. لن نتوسع في هذا الموضوع أكثر من ذلك.

ثمة رؤية نقدية أحدث، ذات طابع مختلف، تستحق أن يشار إليها. فقد عرض جان بيير تشانغو Jean-Pierre Changeux في كتابه وجهة نظر أحد المتخصصين في التاريخ الطبيعي وأبحاث المخ. ولاحظ أن تراكيب المخ الخاصة بالإدراك الحسي وتنظيم الوظائف تبدي نزوعا داخليا، واعيا أو غير

(*) لوجسطيقية تعني معتمدة على المنطق الرياضي، فتعتمد على الرموز وقوانين الارتباط بينها والاستدلال منها، وهي التي قدمها رسل في فلسفته للرياضيات مثبتا أنها محض امتداد للمنطق [المترجمان].

(**)André Darbon, La Philosophie des mathématiques (Paris: Presses universitaires de France, 1949).

(***) يقال عن موضوعين ذهنيين إنهما غير متميزين حين لا يكون أحدهما مباينا للآخر في أي من سماته الباطنية (مراد وهبة، المعجم الفلسفي ص ٣٦٢).

وفي هذا نلاحظ أن فلسفة ليبنتز تقوم على أن أي موجودين هما متمايزان ومتباينان سواء من حيث أوضاعهما في الزمان والمكان، أو من حيث سماتهما الباطنية، وبالتالي يستحيل وجود موجودين لا متميزين أو متماثلين من كل الوجوه. وهذا سر ما في الكون من تنوع وثراء. وبالتالي فإن عدم وجود اللامتميزات مبدأ يعد أثرا من آثار عناية الله، ومن هنا يقال إن ليبنتز هو صاحب مبدأ عدم وجود اللامتميزات. وهو المبدأ الذي يطرحه داربو في النص، فيقول آومنيس إنه يأخذ ليبنتز في صفه [المترجمان].



واع، لتناول الرموز. إن عقلنا يخترع الرموز لأنه، هو ذاته، يعمل عن طريق معالجة رموز عينية، هي علاماته وإشاراته الخاصة به. وعندما يستبدع العقل الاكتشافات التي يحرزها من خلال قدرة الفكر وحده، فإنه ربما يكون معجبا بذاته فقط. إن التساوق الذي نلقاه في نتاج عقولنا يمكن أن يكون انعكاسا للانسجام الداخلي المدهش في آلة تفكيرنا.

هذا الاعتراض ذو تأثير أكبر بكثير لأنه نفذ إلى صميم ما يتعلق به الرياضيون عادة. ولكن يبدو لي أن نقد تشانغو لا يخلو من نقص معيب كان ينبغي أن يعرفه عالم في التاريخ الطبيعي: لقد اختُزلت أعجوبة الرياضيات ورُدت إلى أعجوبة أخرى، ألا وهي أعجوبة مخنا نحن. إن معجزة الطبيعة تلك المسماة بالمخ، مثلها مثل كل شيء حي، هي نتاج بلايين السنين من التطور، وعليها أن تفسر تمامها واكتمالها الذي لم تبلغه إلا قريبا. ولكن هناك ما هو أكثر من ذلك. فما السبب الذي جعل التطور يمنح المخ مثل هذه الخصائص ما لم تكن هذه الخصائص مفيدة للبقاء، الأمر الذي يقتضي ضمنا ويفترض مقدما وجود نظام مناظر يلائم العالم الخارجي تماما، فهل هو نظام متأصل في الواقع؟ عندما يستكشف العالِم هذا النظام، ويتوصل إلى اكتشاف مبادئ الفيزياء، فإنه يلتقي بالرياضيات مرة أخرى، لكنه يلقاها هذه المرة كضرورة مصحوبة بواقع، ولن تعود مجرد نتاج النشاط المستقل للمخ. جماع القول، إننا ندور في حلقات، والإجابة التي اقترحها تشانغو ليست في الحقيقة إجابة. إنها في أحسن الأحوال مجرد مسلاط [بروجيكتور projector] يساعد على إضاءة جزء من الصورة.

سوف نعود إلى هذا السؤال، لكننا نستطيع أن نبدأ الآن بملاحظة بسيطة وهي أنه لا يمكن إجراء مناقشة جادة لواقع رياضي بصورة مستقلة عن فحص قوانين العالم الفيزيائي، أي أن طبيعة الرياضيات لا تنفصل عن طبيعة تلك القوانين. ذلك أن خصائصها الغريبة متشابكة في ما بينها بشكل جوهري، ولا يستطيع أحد أن يدحض من حيث المبدأ وجود واقع غير ملموس باسم الحس المشترك عندما تغير الفيزياء على هذا الحس المشترك ذاته. وسوف يكون من الخطأ في يومنا هذا أن نشيّد فلسفة للرياضيات من دون مساعدة فلسفة العلوم الفيزيائية.

وبالرجوع إلى خصائص الرياضيات المذكورة في نهاية الفصل السابق -الجمال والتساوق والخصوبة والاتفاق مع قوانين الواقع الفيزيائي - نجد أن الواقع الرياضي يتسع لها جميعا. المشكلة الوحيدة مع الواقعية، وهي ليست



مشكلة بسيطة، تتمثل في جعل الناس يقبلون بوجود شيء ما غير ملموس، شيء ما لا يمكن الإشارة إليه، ثم يقولون: «ها هو، هنالك»؛ أي باختصار يقبلون بوجود واقع لا يكون ماثلا في التو واللحظة ولا هو قابل للإدراك الحسي.

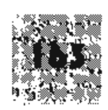
النزعة الاسمية

لا مناص من أن كل نزعة واقعية تقابلها نزعة اسمية nominalism. وفي الحالة الراهنة، تكون أقصى صورة للاسمية هي الزعم بأن الرياضيات عبارة عن لعبة تمارس طبقا لقواعد اختيارية تحكمية، كما هي الحال في الشطرنج. بيد أنها أكثر تعقيدا .هذا الوضع لن نجده بين الرياضيين، وإنما يوجد بين فلاسفة مثل أندريه داربو الذي ورد ذكره سابقا.

يعتبر داربو الرياضيات بنية «فرضية ـ استنباطية hypothetico-deductive»، وهي اختراع بشري على نحو صارم، مبني على فروض يمكن اختيارها بحرية، وتتضمن، إذا ما شئنا، قواعد الاستدلال نفسها. يلعب المرء المباراة باستخلاص النتائج من الفروض عن طريق القواعد المعطاة.

بكل تأكيد، يتفق الوصف الموضح أعلاه بصورة كاملة مع أحد جوانب العمل في الرياضيات. ومع ذلك، فإن النزعة الاسمية تحمل زعما فلسفيا يقضي باختزال الرياضيات وردها إلى مثل هذه «اللعبة»، ولا شيء غير ذلك. وعلى الرغم من نشأة هذا المذهب مع ليبنتز، فإنه ليس من العدل أن نكثف أفكار فيلسوف الجواهر الروحية – المونادات Monads (*) في مثل هذه الصورة المبسطة. والأحرى أن نصغي إلى قول خبير، هو جان جيودونيه الذي يقدم رأيه عن وجود وفائدة بنيات اختيارية تحكمية في الرياضيات قائلا: «يبدو أن مسائل المعقبات consequences الرياضية تشبه، بمعنى ما، الكائنات الحية في أن لها تطورا – طبيعيا – علينا أن نحترمه. إن المنظومات الاصطناعية للبديهيات، أي التي استُحدثت فقط بغرض تعميم بعض المسائل الشائعة بطريقة اختيارية تحكمية، نادرا ما يكون لها معقبات جديرة بالاعتبار». بعبارة أخرى، النظرية التي تطرح فروضا رياضية على أنها اختيارية تحكمية بلا مبرر يلزم كل الأطراف، يواجهها على الفور لغز خصوبتها وقابليتها للتطبيق.

(*) المونادا أو الجوهر الروحي هو أساس فلسفة ليبنتز، وهو لفظ يوناني معناه الوحدة، أطلقه أفلاطون على المثال، واستخدمه إقليدس. ولا شك أن ليبنتز استفاد منهما. والموناد ليس ماديا. ولا يأتي إلا عن طريق الخلق، وتتمايز المخلوقات وتتدرج بحسب موناداتها (أي جواهرها الروحية) التي تتحرك بنفسها، وكل تغيراتها من باطنها (انظر الهامش السابق) [المترجمان].



قد يقيم داربو الحجة على أن أصول الهندسة والحساب قد تجذرت وترسخت في واقع عيني محسوس. ولكن هذه الحجة تفترض جدلا سؤالا عن السبب في خضوع الواقع لقوانين لا يستطيع التعبير عنها إلا الرياضيات. والخلاصة أن النزعة الاسمية الصارمة تقصر عن إتمام ثلاثة اعتبارات رئيسة: الخصوبة والتساوق والتناظر بين الرياضيات والواقع.

إن بعض أنصار النزعة الاسمية، مثل داربو نفسه، حاولوا تبرير وضعهم عن طريق لفت الانتباه إلى نتائج ما يسمى بالمدرسة الصورية، التي يعد أعضاؤها في طليعة المدافعين عن المذهب الأكسيوماتيكي. في حقيقة الأمر، استخدام (أو رفض) هذا المنهج لا علاقة له بطبيعة الرياضيات، ولكن هذا مجرد سؤال عن أفضل المناهج ملاءمة. ليس هناك ما يمنع أحد أنصار الواقعية من استخدام المنهج الأكسيوماتيكي، وليس هناك قصور في الأمثلة على الرياضيين الذين فعلوا ذلك. إلا أن المنهج الأكسيوماتيكي ينحل، إذا جاز التعبير، إلى النزعة الاسمية إذا ما برهن المرء على أن الرياضيات هي ، على وجه الحصر، مسألة منهج ورفض أي تأمل في مجال تساوق النتائج الرياضية. صحيح أنه بالنسبة إلى أنصار النزعة الصورية المستبسلين في الدفاع عنها تعد الرياضيات قابلة تماما للاختزال والرد إلى مجرد التداول الرمزي، وهي بهذا المعنى تتطابق مع الاسمية. ومع ذلك ثلة من الرياضيين مستعدون للذهاب إلى ما هو أبعد.

ومادمنا قد ناقشنا الآن المدرسة الصورية، ينبغي أن نذكر أيضا بضع رؤى أخرى تسترعي الانتباه، من قبيل «النزعة المنطقية logicism» مثلا: المبنية على المنهج الأكسيوماتيكي ولكنها تركز على عملية الاستدلال. ما يؤخذ في الاعتبار هو أن نشيد «براهين» مؤسسة على بديهيات المنطق التي يفترض بدورها أن تكون أساسية جدا. إننا نعتبر بديهيات المنطق تلك عامة تماما، وخالية من عناصر اختيارية تحكمية وقابلة للتطبيق على أي شكل من أشكال التفكير المنطقي. إننا نعرفها عن طريق الحدس، أو - في ما يرى هيوم - كنتيجة لتراكم الوقائع، ولدورها في بنية اللغة. تطور هذا التصور كثيرا على يدي رسل ووايتهد، ويوصف أحيانا، على نحو تخطيطي، بالقول إن الرياضيات تختزل وترد إلى منطق (*). وهذا يعني أن المنطق يتميز بأساس أنطولوجي يحدد الرياضيات جزئيا . ومن ثم فإن الرياضيات تعتبر واقعية أساسا، ولكنها أيضا اختيارية تحكمية بصفة جزئية.

(*) راجع الهامش في الصفحة ١٥٥.



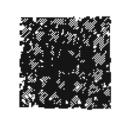
أما ما يسمى بالمدرسة الحدسية intuitionistic school التي يعتبر براوور (*) مهندسها المعماري الرئيس، فإنها تحاول أن تقصر مجال الرياضيات على ما يتصوره الخيال، وهي تقف ضد ما تعتبره نجاحا للصورية الحديثة. وقد أدى هذا عمليا إلى حذف بديهيات معينة والاقتصار على تلك البديهيات التي تظل في ما يعتبره الحدسيون شرعية. وسوف لا نصر على هذا الموضوع الجدلي والفني جدا. وعلى نحو واضح، يجب اعتبار الحدسية بمثابة صورة للواقعية الرياضية، لكنها واقعية من نوع خاص جدا. يستطيع المرء أن يصفها بالقول إنه - في ما يرى الحدسيون - يوجد هناك واقع رياضي مقبول من خلال الحدس، ولكنه غير متأصل (أي يعطى مرة واحدة نهائيا على نحو حاسم، ويوجد وحده مستقلا بذاته)؛ وفي مقابل ذلك، فإن الواقع هو ما يبنيه الرياضيون تصاعديا. ولنفترض سبيلا آخر فنقول: إن الواقع الابتدائي هو الكون، الذي وُجد بسببه البشر، ومن بينهم الرياضيون، ومهمتهم أن يزيدوا المحتوى الذكائي للكون.

السوسيولوجية الرياضية

لا يزال ثمة وضع آخر له أهميته. يُعرف بصور متنوعة تحت اسم نظرية المجتمع العلمي أو السوسيولوجية الرياضية. وطبقا لأتباع هذه النزعة، تعتبر الرياضيات أساسا هي ما يقره مجتمع الرياضيين بشأنها. ومن ثم فإن السوسيولوجية الرياضية هي صورة من صور النزعة الاسمية، وتكمن أهميتها الرئيسة في واقعة مفادها أنها تلقي الضوء على الفعاليات اليومية للرجال والنساء الذين يكونون مجتمعا صغيرا أو اتحادا دوليا.

وكما هي الحال مع أي ناد للنخبة، يتعرض الأعضاء الجدد في هذا الاتحاد لطقوس تلقين بسائط الموضوع عن طريق اختبارات وامتحانات، حتى تبلغ الذروة بإعداد أطروحة. إن المطلوب هو أن ينتشر التعليم، وأن يجري التحكم في المبادئ والتعاليم والمذاهب التي تسود في وقت معين. ومن ثم كانت العقيدة السائدة في أواسط القرن العشرين هي البديهيات كما صاغها هيلبرت وصنفها ونسقها وجمع قوانينها بوركابي في كتبه. باختصار، دخلت البديهيات بعد ذلك دخولا مظفرا في الكتب والمناهج الدراسية تحت اسم الرياضيات الحديثة. منذ ذلك

(*) هو الرياضياتي الهولندي لويتسن براوور (1881-1966) L. Brouwer، ويشاركه في تأسيس المدرسة الحدسية في تفسير طبيعة الرياضيات أرند هايتنغ (1898-1980) A. Heyting الهولندي أيضا والذي حصل على الدكتوراه برسالة تحت إشرافه حول البديهيات الحدسية في الهندسة الإسقاطية العام ١٩٢٥ [المترجمان].



الحين، أسهم تطور الحواسيب [أجهزة الكمبيوتر] في إعادة توجيه اهتمامات المجتمع الرياضي، وها نحن نشهد نقلة نحو الاتحاديات combinatorics وتبعد بنا عن مجالات أخرى مثل التحليل، حيث تلعب اللا نهاية دورا مركزيا.

إن الفلاسفة والرياضيين الذين تأثروا بهذه المدرسة، مثل ريموند وايلدر R.Wilder ورينيه توم R. Thom، قد ذهبوا إلى ما بعد الاسمية التقليدية بأن أخذوا في الاعتبار وفرة وغزارة الرياضيات في كل تجلياتها، وخاصة من منظور عامل الإبداعية. لقد جرى تحليل الإبداعية في الرياضيات بعمق منذ أن أخبرنا بوانكاريه عن كيفية ورود فكرة «الدالة الفوشية Fuchsian function» على خاطره وهو يهم بركوب الحافلة. ويظهر من الدراسات المكثفة للموضوع أن أفكارا جديدة تظهر في ومضة، بشرط أن يكون الباحث مركزا أفكاره على المشكلة باستمرار. وفي ما يتعلق بهذه «الإبستمولوجيا الخصوصية private epistemology» فإن مجتمع الرياضيات يؤدي دوري النقد والتضخيم كليهما، ثم يقرر في النهاية مصير الأفكار الجديدة: هل هي جديرة بأن يعوَّل عليها في التفكير والتواصل، أم أنها هُجرت وحُكم عليها بالنسيان؟

وربما يتخوف البعض من أن هذا الاختزال والرد بالنسبة إلى الرياضيات إلى مثل هذا الاتفاق المشترك قد يحولها إلى مجرد مباراة في مواضعات ومواءمات، ما لم تكن نمطية، حيث سيكون تمييز مجتمع الرياضيات عن أعضاء نادي البريدج تمييزا طفيفا. ومن الأهمية بمكان، من أجل موازنة هذه النزعة أن يُؤَكَّد على حقيقة مفادها أن الرياضيات أيضا أداة لاكتساب المعرفة. لكن يبدو أنه لا يوجد بين المؤيدين لهذا الوضع رأيٍ عام مشترك حول أسباب الكفاءة المذهلة التي تظهرها الرياضيات عندما تستخدم في علوم أخرى. إلا أن هذا اللغز ليس من الموضوعات الرئيسة التي تستغرقهم، اللهم إلا بقدر ما تخدم الفائدة باعتبارها معيارا للحكم على الأهمية الممكنة لطرق بحث جديدة. إنهم يعتبرون أن أكثر ما يميز الرياضيات هي فكرة البرهان الذي تتفرد به بين كل مجالات المعرفة الأخرى.

أجرى إمري لاكاتوش Imre Lakatos تحليلا مفصلا وممتازا لمفهوم البرهان (*)، من جانبيه النظري والعملي، وتدارس كيفية تشكل «الصدق» الرياضي في الإبستمولوجيا الخصوصية للرياضياتي وفي المجتمع الرياضياتي، وقسم هذه العملية

(*) انتقل إمري لاكاتوش (١٩٢٢ - ١٩٧٤) من وطنه المجر ودرس على يد كارل بوبر. وعمل أستاذا للمنطق في مدرسة لندن للاقتصاد التي يعمل فيها بوبر: فكان من تلاميذه النجباء حقا، وإن كان قد اتخذ موقفا وسطا بين بوبر وتوماس كون. إن لاكاتوش من أبرز فلاسفة العلم في المرحلة التالية، ترك تأثيرا كبيرا على مسارها على الرغم من وفاته المباغتة في حادث سيارة أليم.. ويبحث كتابه «ميثودولوجيا برامج الأبحاث العلمية» تقديم معيار عقلاني داخلي لنمو المعرفة العلمية، ويعد من أدبيات فلسفة العلم. جسد نقلتها المحورية نحو الوعي التاريخي بالظاهرة العلمية [المترجمان].



إلى عدة مراحل. يرى لاكاتوش أن كل شيء يبدأ بتخمين، أي بفرض حدسي (*) يتوقع احتمال صدق مبرهنة معينة. يمكن اقتراح هذا الفرض الحدسي عن طريق بعض الأمثلة، أو فكرة طرأت على خاطر الرياضياتي وتستحق، لجمالها، مزيدا من البحث والفحص. وتضم الأدبيات الرياضية عددا هائلا من الفروض الحدسية، المشهورة أو العادية، التي تجمعت عبر القرون. ويهتم كل من لاكاتوش والمدرسة السيوسيولوجية بكيفية ظهور هذه الفروض الحدسية [التخمينات conjectures]، على أن هذا الموضوع هنا مرتبط بقضية الإبداعية التي سبق ذكرها.

إن البرهنة على فرض حدسي معين يمكن أن يقوم بها رياضياتي واحد، أو فريق من الرياضيين أو حتى عدة مجموعات تعمل معا أو تتنافس بعضها مع بعض. وأيا ما كان الأمر، فإنهم يبدأون بمسح عدة طرق معروفة للبرهان تكون واعدة، تلي ذلك عملية تقييم الاحتمالية الأقوى لنجاح كل منها. إن ما يسميه لاكاتوش «مخطط البرهان» هو تفكيك الحجة الرئيسة إلى سلسة من المأخوذات lemmas (**)، أو الافتراضات الحدسية الثانوية. بعض هذه المأخوذات يمكن برهنتها دون صعوبة كبيرة، بينما تظل مأخوذات أخرى على مستوى الفرض إلى أن تجد برهانا مرضيا.

يحدث بعد ذلك اختيار مخطط البرهان عن طريق البحث عن أمثلة مضادة يمكنها أن تدحض مأخوذة ما يُعتقد أنها صحيحة مبدئيا. واكتشاف مثال مضاد إما أن يضعف الثقة في مأخودة ما، مما يفضي إلى إعادة النظر في مخطط البرهان، وإما أن يرفض المخطط من أساسه عن طريق البرهنة على كذبه. وفي الحالة الأخيرة لا يكون البحث عن برهان هو بالضرورة مضيعة كاملة للوقت، لأن الجهد الفكري الممتد والمنتشر يمكن أن يوحي بإمكانات جديدة ويؤدي إلى جولة إبداعية جديدة. في بعض الحالات، تبدو الأمثلة المضادة المكتشفة مبالغا فيها، لدرجة أنه، بالإضافة إلى رفضها للحدس الافتراضي [التخمين] باعتباره كذبا، يُفضل الحد من الفروض الشرطية لصحتها (يطلق لاكاتوش على مثل هذا المسار من الإجراءات اسم الحاجز الغريب). وهكذا يتقدم البحث على مراحل،

(*) تلك هي العقيدة البوبرية الأساسية، لذلك يقال إن لاكاتوش هنا أكثر بوبرية من بوبر نفسه، حيث ان بوبر طرح هذه المقولة كأساس لفلسفة العلوم التجريبية، ثم عمل لاكاتوش على مدها - كما نرى - إلى مجال فلسفة العلوم الرياضية، وهذا ما لم يفعله بوبر نفسه [المترجمان].

(**) المأخوذات lemmas نظريات ابتدائية تستخدم في إثبات نظرية أخرى، أو هي قضايا مسلم بها تُتخذ مقدمة للقياس. وورد في «مصطلحات مجمع اللغة العربية» أن المأخوذة «دعوى سبق برهنتها، واحتيج إليها للبرهنة على دعوى أخرى» [المترجمان].



وربما ينتج في نهاية الأمر برهانا مرضيا للتخمين الأصلي (أو المعد)؛ وإلا فإن إثارة الشك في الفروض قد تنتهي، في بعض الحالات الضرورية، بالحث على مراجعة بديهيات النظرية التي يركز عليها الافتراض الحدسي [التخمين].

يزعم لاكاتوش أن هذا على وجه الدقة هو نوعية العملية التي تؤدي إلى نتائج يرجح أن تحظى بالقبول من الجماعة الرياضية. ومن ثم فإن مفهوم «الصدق» يكون اتفاقيا أكثر منه إدراكا لشيء ما مطلق وغير قابل للجدل. يمكن إيضاح هذه الرؤية بمثال من التحليل الرياضي: في ما بين القرنين الثامن عشر والتاسع عشر كانت معايير التدقيق صارمة جدا، مما أدى إلى إصلاح وتنقيح كاملين للبديهيات التي سبق ذكرها. إن البراهين الرياضية تبلغ تمام النمو بمرور الزمن، مثلها في هذا مثل الرياضيات ذاتها تماما.

إن الاعتبارات التي سبق ذكرها صحيحة تماما وتعكس الواقع بأمانة، لأنها مبنية على دراسات جادة تترسم الطريق الذي سلكته الرياضيات. على أننا قد نتساءل عما إذا كنا قد عرفنا، بعد كل هذا، قدرا كبيرا عن طبيعة الرياضيات ورب معترض من بين الواقعيين بأن دراسة مماثلة يمكن أن تحدث بشأن تطور الخرائط والخطط المرسومة في ما بين العصور القديمة وعصر النهضة الأوروبية الحديثة. تحكي قصص المستكشفين والبحارة أن المسافات التي قطعوها، برا وبحرا، ستكون متصلة بالموضوع؛ أما التفاصيل الأخرى فإنها تُعزى إلى «إبداعية» الرحالة. إن اتفاقا كاملا على المسافات المقطوعة يوضح الأهمية بالنسبة إلى القارات قيد الدراسة. ولكنه لا يثبت وجودها بأي حال. بعبارة أخرى، تحليل السوسيولوجية الرياضية، من وجهة نظر نصير للنزعة الاسمية، لا يسمح للمرء ببلورة نتيجة ما في ما يتعلق بالواقع النهائي للاستكشافات المحتملة، ولا هو يستبعد إمكانيتها.

هذه النظرية تحتل منزلة متوسطة نوعا ما عندما يتم الحكم عليها وفقا للمعايير الواردة في المستهل. إن الشرط الجمالي متوافر بصورة مرضية، حيث إن الجماعية الرياضية حساسة جدا بالنسبة إلى هذا البعد، وينطبق الشيء نفسه على الجانب الرمزي. وفي المقابل، تظل إنتاجية الرياضيات وخصوبتها الفائقة لغزا كاملا مستورا في النزعة السيكولوجية المحيطة بالإبداعية. وأخيرا، فإن مسألة التناظر بين الرياضيات والواقع الفيزيائي قد تركت من دون حل.



الرياضيات والواقع الفيزيائي

لقد أدرجنا الدور الحاسم الذي يؤديه علم الرياضيات في صياغة قوانين الفيزياء، ليكون ضمن معايير المقارنة بين الفلسفات المختلفة للرياضيات. وهو معيار غير عادي، وغالبا ما يعتبر غير رئيس. ولهذا سوف نلقي عليه نظرة عن كثب لكي نضعه في منزلة أفضل من حيث الأهمية.

هناك بعض «غلاة التناهي ultrafinitists»، معظمهم فيزيائيون وعلماء حاسبات آلية [كمبيوتر]، يرفضون أن يروا في الرياضيات أي شيء سوى العمليات المتناهية التي تنفذ على الحاسبات الآلية، او تُحصى مباشرة في الطبيعة بواسطة الأشياء ذاتها. وهذا وضع متطرف ولن نتوسع فيه.

من الثابت يقينا أن كل شخص إنما ينشد الواقع الفيزيائي عندما يشرع في الاختيار من بين كل المفاهيم الرياضية الممكنة، على الرغم من أنها ليست دائما مقنعة بدرجة كبيرة. وفي حقيقة الأمر، يجد الصوريون في هذا الواقع مصدرا لقواعد من المحتمل أن تكون سببا للمنطق، على نحو ما أوضح هيوم. ويتفق الحدسيون معهم تماما. أما الاسميون فإنهم من جانبهم يخففون من حدة التجاوزات التي تظهر في لعبتهم الصورية، وذلك عن طريق ملاحظة التأثيرات الموحية للواقع الخارجي من وقت لآخر، حتى لو كان الغرض هو فقط تبرير أصول الهندسة الإغريقية. وأخيرا يرى المناطقه في وجود الأشياء الفيزيائية التي يمكن تجميعها في فئات عاملا ملهما لنظرية الفئات والأعداد الحقيقية، باعتبارهما العمودين الداعمين للمنطق.

وكذلك تميل المحاسبة الرياضية الحديثة إلى أن تبدأ بالمنطق ووجود الأشياء، بينما تنحي كل جوانب الواقع الأخرى. ويعتقد العديد من الرياضيين في مشروعية هذا الرأي، وإن لم يكن بمنجاة من الهجوم، ولهذا تكون الرياضيات مترسخة في أبسط عناصر الواقع لتتطور تباعا بطريقة آلية.

ولسوء الحظ، يبدو أنهم يخدعون أنفسهم بالاعتقاد في مثل هذا العالم البسيط. قد يكون الواقع منذ قرن مضى كان لايزال مؤلفا من أشياء يمكن التعبير عنها وعدها بإتقان، أما اليوم فلم تعد الأشياء بمثل هذه البساطة. نحن نعلم الآن أن الواقع الفيزيائي محكوم بقوانين الكوانتم، وهذه حقيقة تدعو إلى الارتياب في البساطة الأساسية لمفهوم الشيء ذاته.

وفي المقابل، ربما يرغب المرء في أن يرى بعض الأشياء البسيطة جدا مثل الوحدات أو اللبنات البنائية للفيزياء، أي الجسيمات الأولية مثل الإلكترونات والبروتونات والكواركات، وهلم جرا. لكن تلك الجسيمات ينقصها جميعا المميزات



اللازمة لبناء نظرية فئات مؤسسة عليها، حيث يتعذر تمييزها على الإطلاق، ولا تسمح لنا بأي شيء يميز إلكترونا عن الآخر، وحتى يميز موضعه في الفراغ. ولهذا يستحيل القول إن أحدها يمتلك خاصية تحديد فئة فرعية معينة، بينما يفتقد الآخر هذه الخاصية. إن الفيزياء الحالية مؤسسة على أجسام لا يمكن تصورها على أنها عناصر لفئة يمكن أن تتكون منها فئات فرعية (*).

رب متسائل: وماذا بعد؟ أستطيع أن أرى أنه توجد على المستوى الإنساني أشياء مُستثناة من هذا الخلل: أشجار وأحجار وعيدان ثقاب وألف شيء آخر إذا استخدمنا أبجدية الرياضيات a, b, c. وهذه وجهة نظر قديمة وجديرة بالاعتبار أملاها المذهب الإمبيريقي. إلا أنه توجد مع ذلك مشكلة أكثر مراوغة من السابقة، وإن كانت لا تقل عنها واقعية. ففي محاولة فهم طبيعة هذه الأشياء في عالم يخضع لقوانين فيزياء الكوانتم، إذا حاولنا طرح وصف مُرض لها فإننا نواجه بنقصان غير متوقع في النظام المفترض للتعقيد الرياضًي. ولا يمكن التعبير عن قوانين الفيزياء التي تترجم وجود الأشياء إلا باستخدام طرق تحليل هي الأكثر تنقيحا، بعد نقلها من حروف نظرية الفئات a, b, c، وعلى نحو يتعذر قياسه (**). بعبارة أخرى، ما بدا أنه نقطة بداية مناسبة للرياضيات يظهر الآن، في حالة المعرفة الراهنة، كنقطة طرفية بعيدة بشكل واضح عن منظور نظرية المادة. ولا يوجد في الواقع الفيزيائي على الإطلاق ملاذ يفرض نفسه كدليل إثبات أولي بالنسبة إلى الرياضيات.

هل نسمح للتشاؤم بأن يتغلب علينا، ونخلص إلى آن سؤالنا الملح لا يفضي إلا إلى عدمية المعرفة؟ نحن لا نعتقد ذلك، ولكن هذه إشارة إلى أننا يجب أن نكون أكثر حسما وصرامة، وفوق هذا كله يجب ألا نعتبر الرياضيات مجالا مستقلا، بل هي جزء مكمل من فلسفة شاملة للمعرفة.



(*) هكذا أثبت المؤلف أن نظرية الفئات التي رأيناها أساس المنطق الحديث لا تصلح للتطبيق على واقع الكوانتم الفيزيائي. ويا له من كشف مثير بقدر ما هو كشف بسيط ونافذ! انه أساس مكين من أسس مشروع هذا الكتاب بأسره والنظرة التجديدية الجريئة التي يعرضها [المترجمان].

(**) هذه الملاحظة تسبق المناقشة التي سوف ترد في الفصلين العاشر والثاني عشر، في ما يتعلق بالخصائص الكلاسيكية للأشياء الماكروسكوبية [الكبرى التي تدركها الحواس]، المشتقة من قوانين الكوانتم [المؤلف].



7

الفيزياء الصورية

قرن الفيزياء الصورية

بأعمال ماكسويل مع خواتيم القرن التاسع العشر. وصلت الفيزياء الكلاسيكية إلى تبدل عميق في طبيعتها. انتهى الدور الرائد للمفاهيم القديمة العيانية - الموضع والسرعة والقوة - وكثيرا ما أضفت عليها الرياضيات مزيدا من الدقة دون تغيير المعنى الحدسي الأصلي لها. الآن، تلك الرؤية الواضحة الجلية حلت محلها بشكل جزئي تصورات أكثر تجريدا بما لا يُقارن، مثلا تصورات المجال الكهربي أو المغناطيسي، والذي لم يعد التعبير الرياضي عنه مجرد ترجمة بسيطة لحدس، بل إنه الشكل الوحيد الممكن الواضح فعلا. وكمحصلة لهذا أصبحت قوانين هذه الفيزياء الجديدة علاقات رياضية بين كميات؛ بعض القوانين تصف ارتباطاتها والبعض الآخر يعبر عن ديناميكيتها، أي سبل نمائها وتطورها مع مرور الزمن. وإذ لا يزال عقل الفيزيائي يحاول استنقاذ ما يمكن استنقاذه من التمثل الحدسي للمفاهيم، فإن حقبة جديدة قد أشرقت، حقبة سوف تعلو فيها الصورة الرياضية للأفكار والقوانين الفيزيائية على سائر صور الفهم الأخرى.

> «**لقد** حان الوقت الذي لا بد أن ترتنع فيه الفيزياء إلى مستوى الحدث، أن تلحق بالنظرية، سواء أكانت النظرية واضحة أم لا، بسيطة أم غير بسيطة...»
>
> **المؤلف**



من الآن فصاعدا سوف ترسو الفيزياء بأسرها أيضا على مبادئ صورية غالبا ما تحول دون أي تأويل حدسي، هذا إذا لم نتحدَ جهارا نهارا الحس المشترك أو ما نعتقد فيه بحكم الحس المشترك. على أي حال، سوف يكون من قبيل الخطأ أن ننظر إلى هذا التطور المربك والمرعب من ناحية أو من أخرى على أنه نتيجة لمؤامرة صاغتها بضعة عقول مغلفة بالغموض أو رهط من الميتافيزيقيين منفلتي العيار، الذين يفضلون أن تعلو أحلامهم الجامحة على البساطة الطبيعية للأشياء. والحق أن أحدا لم يدخر وسعا لبث الحياة النابضة والدماء الدافقة في أعطاف التصورات التي تبدو كأنها تحظر شهادة الحواس: وإذا كانت تلك التصورات، بجمود المشاعر فيها، تتولى الآن مقاليد السلطة في صلب معرفتنا، فذلك لأن أحدا لم يستطع انتزاعها من على العرش.

وسوف يكون خطأ بالقدر نفسه الاعتقاد بأن الفيزياء، وهي تسارع الخطى نحو التجريد، قد فصلت نفسها تماما عن الواقع، لتتشح بأردية رياضية أثقل وأثقل. الحق الصراح أن الفيزياء جنت أرباحا وفيرة، انتشر سؤددها المعرفي انتشارا تكاد لا تحده حدود حتى أبعد الآماد. فلم يعد ثمة سر لم تفض مغاليقه، أو حجر لم تحركه، باستثناء الحدود المترامية جدا. في الآن نفسه، نجد الفهم التفصيلي للواقع العيني قد ازداد عمقا، وتوالدت أشكال جديدة من التطبيقات التكنولوجية. الحدس لم يتم إقصاؤه تماما والأحرى أنه لا يزال يؤدي دورا فعالا في أن يلهمنا أفكارا جديدة في الفيزياء. لقد هجر الأسس فقط ، وهذا يكفي.

الحلقات الكبرى من هذه السلسلة معروفة، وهي معدودة. ومع النظرية النسبية التي اكتشفها آينشتين العام ١٩٠٥ بدأت المغامرة تلامس حدود الخيال، فقدَ المكان والزمان خاصية المطلق التي طالما نعما بها في عقل كل شخص، والتي افترضها نيوتن بوضوح قاطع. المسافة ومرور الوقت يعتمدان على حركة الملاحظ الذي يقوم بقياس الزمان والمكان. وفي أعقاب هذا سرعان ما جاءت نظرية آينشتين في نسبوية الجاذبية، لتتقدم بإجابة عن السؤال الجلل الذي تركه نيوتن من دون إجابة: قوة الجذب لا تمارس فعلها في اللحظة ذاتها، بل إن تأثيرها يتوالد تدريجيا بسرعة الضوء. إن هذا لانتصارٌ عظيم، وهو أيضا مصدر لبلبال كبير، ليس فقط في أن الزمان والمكان أصبحا مرتبطين ارتباطا وثيقا بوصفهما نتيجة للحركة، بل إنهما معا



شكلا كيانا جديدا، هو الزمكان space-time، غير متاح للحدس بالمرة، وهو علاوة على ذلك كيان منحن. والرياضيات فقط هي التي تستطيع وضع توصيف لهذا الشيء الجديد. ويبدو الحس المشترك بلا حول ولا حيلة، أو بالأحرى يبدو أحمق أبله حين يواجهه هذا الكيان الجديد.

ونحن قد أقنعنا أنفسنا بقبول حقيقة مفادها أن الزمان والمكان، على الرغم مما يبديانه من فتنة طاغية، لا يمكن أبدا فهمهما فهما واضحا، وبالتالي فإن أي تفكر فيهما هو نوع من الميتافيزيقا. وأيضا مادامت التأثيرات الجديدة للجاذبية التي تتنبأ بها النظرية متناهية الصغر، فإننا ببساطة قد اعترفنا بوجود منطقة سرية غامضة تقع خارج حدود الفيزياء، بينما نستبقي رؤية واضحة للمادة، المادة التي لا نزال نراها ونلمسها. ولكننا إذ نفعل هذا، إنما نغلق عيوننا عن حقيقة مفادها أن الأسوأ لم يأت بعد، وأيضا الأفضل لم يأت بعد.

الأسوأ والأفضل هو فيزياء الكوانتم التي تبدو تارة معجزة رائعة وتارة تبدو شيطانية من أفاعيل إبليس. ولكن من الأفضل ألا نفسد جدة الموضوع في التو واللحظة، إذ إن الفرصة متاحة لأن نعالج الكوانتم باستفاضة. غير أننا نستطيع الآن أن نحدد تماما مجالها. وهاك أولى دعاواها: تتكون كل صنوف المادة وكل أشكال الضوء أو الإشعاع من جسيمات متناهية الصغر، هي الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والفوتونات وبضعة جسيمات أخرى. وميكانيكا الكوانتم هي التعبير عن قوانين الفيزياء الملائمة لهذه الجسيمات.

وهي على هذا نظرية كل شيء، ربما باستثناء المكان والزمان، هي جوهر الفيزياء وماهيتها، النظرية العامة التي يمكن أن نشتق منها البقية الباقية من الفيزياء، على الأقل من حيث المبدأ. هكذا نجد أن ميكانيكا الكوانتم من الناحية الفعلية هي الفيزياء بأسرها، وقد تكثفت في بضعة قوانين، ولهذا السبب يقال عنها إنها نظرية معجزة. وسرعان ما سيتبدى لنا أنها يمكن أيضا أن تكون شيطانية شريرة، والأحرى ألا نلوك سمعتها قبل أن نتعرف عليها كما ينبغي.

يقال إنه من المستحيل مناقشة تلك النظريات بالتفصيل، وسوف نواصل مسارنا بالتوقف على المسائل الجوهرية، مجرد الحد الأدنى المطلوب لكل من يريد تدبر أمر العلم. وسوف نعرض للنظرية النسبية الخاصة ونظرية

الجاذبية النسبوية فقط بإيجاز شديد. وليس لنا أن نفسر هذا بوصفه تقويما غير مؤات للمزايا أو للمقصد الجوهري، غير أن فيزياء الكوانتم تتقدم بمدد كاف لإشباع فضولنا وشهوتنا العقلية.

وكديدننا في ما سبق، سوف نواصل فحص هذه الأسئلة عن طريق تتبع مسار التاريخ. والتاريخ لسوء الحظ أكثر ثراء وتعقيدا بحيث لا نستطيع أن نحيط بكل جوانبه. إنه مفعم بالمغامرات والاستنارات والهواجس والنكوص والارتداد، وأيضا المفاجآت الكبرى. ولهذا السبب سوف نكون ملزمين بتبسيطه. وبعد رسم حدود تلك العلوم المدهشة، سوف نجاهد لاستخلاص بعض المبادئ الأساسية، على الرغم من تعقيداتها الرياضية، وذلك من أجل استيعاب أفضل لكل معقباتها ونواتجها. وحينئذ سوف نرى الصورة الكاملة لنشأة المشاكل الفلسفية بعيدة المدى حيث تضرب نظرية المعرفة في يومنا هذا بجذورها.

النسبية

على الرغم من الجوانب الصورية للديناميكا الكهربية في خواتيم القرن التاسع عشر، فإنها استبقت فكرتين من أفكار الماضي، إحداهما قوية والأخرى بسيطة، الفكرتان معا أدتا إلى هاجس سيطر على الأذهان. الفكرة القوية هي خاصية المطلق للزمان والمكان. والفكرة البسيطة هي أن الطبيعة الموجية للضوء تفترض سلفا حاملا ماديا، شيء ما يتذبذب كان معروفا على أنه الأثير ether. وكان الهاجس المسيطر هو إثبات وجود الأثير عن طريق تجربة ما.

لقد تناسينا في عصرنا هذا جانبا من ذكرياتنا عن الإسهابات والنظريات والبدايات الخاطئة التي أثارها سؤال الأثير هذا. إنه على أي حال فصل ذو اعتبار من فصول تاريخ العلم، لا يعرفه إلا المتخصصون في الموضوع. وتلك هي خطوطه العريضة: كان من الطبيعي افتراض أن الأثير، وهو نوع من المادة الوسيطة تتذبذب بمرور الضوء، لا بد أن يكون موجودا في كل مكان ينتشر فيه الضوء، وهو على وجه الخصوص يملأ الفراغ الواقع بين النجوم الذي يرتحل عبره الضوء الآتي من النجوم. هكذا كان الأثير هو التفسير المادي للمكان المطلق الذي افترضه نيوتن.

لم تكن مثل هذه الفكرة مجرد تأمل نظري، بل هي مؤسسة على بعض الملحوظات المحسوسة. فهناك أولا تركيب السرعات. وجود المكان والزمان المطلقين يفضي إلى أن سرعة الشيء يمكن حسابها بقاعدة بسيطة، حينما



يكون الملاحِظ أيضا يتحرك بالنسبة إلى المكان المطلق. وبالتالي، إذا كانت الإشارة الضوئية تتحرك بسرعة معينة في المكان المطلق، فسوف يعين الملاحِظ المتحرك الاختلاف بين السرعة المطلقة للضوء وسرعته هو. وبالتالي فإنه حين قياس السرعة سوف تتأثر السرعة الملاحَظة للضوء بحركة المختبر الذي يجري فيه القياس، مادامت الأرض تحمل المختبر معها في دورانها حول الشمس. والآن تتنبأ معادلات ماكسويل تماما بمقدار سرعة الضوء، ورمزت إليها بالحرف c، من دون أي بديل آخر. ومن ثم كان من المعقول تماما الاعتقاد بأن معادلات ماكسويل تمثل قوانين الفيزياء كما تسري في صميم الوسط المكاني، أي الأثير الذي افترضوه ساكنا بالنسبة إلى المكان المطلق.

ما قلناه الآن بصدد تركيب السرعات يبين أنه يمكن، من حيث المبدأ، اختبار هذا الافتراض الحدسي عن طريق قياس مقدار سرعة الضوء بدقة كافية. ومادامت سرعة الأرض بالنسبة إلى الشمس تأخذ الاتجاه المقابل كل ستة أشهر، فإنه من الممكن ملاحظة الاختلاف. بل إنه ليس من الضروري أن ننتظر ستة أشهر، لأن سرعة الأرض في أي لحظة معلومة لها اتجاه محدد بالنسبة إلى المكان المطلق، وبالتالي سوف تتغير القيمة الملاحَظة لمقدار سرعة الضوء اعتمادا على ما إذا كان الضوء يرتحل في هذا الاتجاه المعين أو في اتجاه آخر، مثلا اتجاه متعامد عليه. وللأسف، كان ثمة مشكلة: النسبة V/c بين مقدار سرعة الأرض ومقدار سرعة الضوء ضئيلة للغاية، من واحد إلى عشرة في الألف، ولم تكن أدوات القياس المتاحة آنذاك تستوفي مثل هذه الدقة.

وهكذا كان من الضروري البحث عن تأثيرات أخرى يمكن تعيينها تجريبيا. وكانت ظاهرة التداخل interference مرشحا واعدا لهذا، لأن الموقع الدقيق لهدب fringes التداخل يطرح إمكان تضخيم هائل للمتغيرات المفترضة في مقدار سرعة الضوء (*). ومن المؤكد أن الأثر المتوقع سوف يكون من الرتبة

(*) التداخل interference ظاهرة موجية تحدث عن تراكب موجتين متساويتي الطول صادرتين من مصدرين مترابطين. ويكون التداخل بنّاء constructive عندما تزداد سعة الحركة الموجية المحصلة إلى مجموع سعتي الموجتين المتراكبتين في مواقع التقاء قمتيهما وقراريهما. بينما يكون التداخل هدّاما destructive عندما تقل السعة إلى نهاية صغرى في مواقع التقاء قمة إحدى الموجتين بقرار الأخرى. ونشاهد هذه الظاهرة في الموجات الكهرومغناطيسية (ومنها الضوء) والموجات الصوتية والميكانيكية أما هدب Fringes التداخل فهي المناطق المتعاقبة من الضياء والظلمة التي تنشأ عن تداخل الضوء أحادي اللون monochromatic. أو هي المناطق المتعاقبة من ألوان الطيف التي تنشأ عن تداخل الضوء الأبيض [المترجمان].



الثانية بالنسبة إلى الكمية الضئيلة جدا V/c، أي متناسبا مع مربع هذه الكمية، وبالتالي رتبة مقدار يبلغ واحدا من واحد على مائة من المليون. على أن التضخيم المُنتَظَر سوف يجعل الأثر محسوسا، شريطة استخدام مقياس للتداخل (إنترفيروميتر interferometer) كبير وثابت بما يكفي. ولهذا يعزى الفضل إلى خطى التقدم التكنولوجي التي أنجزها الفيزيائي الأمريكي ألبرت مايكلسون، برفقة إدوارد مورلي، في تصميم وإجراء مقياس للتداخل، وأمكن أخيرا قياس «رياح الأثير» في العام ١٨٨٧ .

كانت الحصيلة مختلفة تماما عما توقعناه. كل الأدلة وكل أشكال التحقق أشارت إلى الاستنتاج ذاته: سرعة أجهزة القياس ليس لها أي أثر إطلاقا في مقدار السرعة المقيسة للضوء.

ثلم هذا الاكتشاف كثيرا من الأفكار التي تقبلناها، وجرى البحث عن تفسير ما، بكل السبل المتاحة. في العام ١٨٩٣، جاء الإيرلندي جورج فيتزجيرالد G. Fitzgerald بتفسير مغر ومثير للقلاقل في الآن نفسه: هل يمكن أن يكون الأمر راجعا إلى أن حجم الأجسام المادية، مثلا الساق المعدنية المستخدمة لتمثل المقياس المعياري، سوف يتغير تحت تأثير الحركة المتعلقة بالأثير؟ حينئذ سوف ينقص طول المقياس حين يرتحل في اتجاه طوله، ويبقى الطول بلا تغير إذا كان اتجاه الحركة متعامدا عليه. بل اقترح فيتزجيرالد تعبيرا رياضيا واضحا عن مثل هذه التبدلات. أما الفيزيائي الهولندي هندرك لورنتس H. Lorentz، وهو واضع نظرية مفصلة عن الديناميكا الكهربية في المادة، فقد عزا هذا التأثير إلى تغير القوى البين ذرية في الأشياء المادية المستخدمة كمقاييس للطول (وبالمثل تماما في كل الأجسام المادية الأخرى). وفي العام ١٩٠٣ بيّن أن مثل هذا الأثر الذي نتحدث عنه ينبغي أن يكون مصحوبا بتغير في الحركة الدورية داخل الذرات، وعلى نطاق واسع في حركة الساعات. ارتبط هذان التأثيران أحدهما بالآخر في صياغة لورنتس الشهيرة للتحول، التي تعطينا التغيرات في الطول وفي الزمن حينما يتحرك ملاحِظان بالنسبة إلى بعضهما البعض ويقارن كلاهما القياسات الخاصة به بقياسات الآخر.

وفي العام ١٩٠٥ اقترح ألبرت آينشتين مراجعة شاملة للمفاهيم. وبدلا من افتراض أن الحركة المتعلقة بالأثير هي علة تقلص الطول أو انكماشه عند فيتزجيرالد، يرى آينشتين أن منشأ هذه التقلصات إنما هو في صميم طبيعة المكان والزمان. إن المقياس المعياري ذاته له الطول نفسه بالنسبة إلى الملاحِظ



الذي يحمله، وعقارب الساعة التي يحملها في جيب صُدرته تشير دائما إلى التوقيت ذاته (في العام ١٩٠٥، كان المفترض أن الملاحظ رجل، يرتدي حلة من ثلاث قطع). هذا الملاحظ يقيس المكان بمقياسه، ويقيس الزمان بساعته، وهذه هي عينها حال الملاحظ الثاني الذي يرتحل بالنسبة إلى الأول بسرعة ثابتة، لكن ليس من الضروري أن تتطابق مقاييس الحادث الواحد عينه عند هذين الملاحظين. بعبارة أخرى، ليس ثمة مكان مطلق ولا زمان مطلق؛ ثمة فقط مقاييس للمسافة والوقت تعتمد على حركة الملاحظ. طريقة الملاحظَيْن المختلفَيْن لاتخاذ المقاييس ترتبط فقط في أنها تتضمن مقدار سرعة كل منهما بالنسبة إلى الآخر، أي حركتهما النسبية.

أفضل طريقة لتقدير ثورة المفاهيم التي أعقبت هذا إنما تكون عن طريق المقارنة بتركيبية كانط للأحكام القبلية المتعلقة بالمكان والزمان. وإن شئنا، نستطيع مواصلة المسير لنفترض أن هذه الأحكام القبلية هي أفكار مفطورة تشكل تمثلنا للعالم ورؤيتنا إياه. لكن لا بد من الاعتراف بأن مقولات الفكر تلك لا تتفق مع الطبيعة، باستثناء الحالة التي تكون فيها كل الحركات موضع الفحص بطيئة مقارنة بسرعة الضوء (وتلك هي أكثر الحالات المألوفة إلى أبعد الحدود). إن المكان والزمان ماثلان دائما أمام رؤيتنا العقلية، لكن فقط بطريقة تقريبية، وإلى آخر المدى نجد أن الوصف الوحيد الموثوق به هو الصياغة الرياضية للتناظر بين الملاحظات. إنه غير قابل للوصف بأي وسيلة أخرى سوى الوسائل الجبرية، حتى إذا تصادف أن قهرنا حيرتنا المبدئية. مع مجيء النسبية، كفت نظرية المعرفة تماما عن أن تكون قولبة لتمثل حدسي، لكي تصبح قائمة فقط على مفاهيم صياغتها الأصيلة لا تكون إلا منطوية على صورية رياضية.

ولكن هل كانت أفكار آينشتين عن المكان والزمان مقنعة بما يكفي لجلب قبول عام لها؟ لقد بدت أفكارا راديكالية إذا ما قورنت بأفكار لورنتس، التي كانت بالقطع كلاسيكية أكثر. وبالتالي ما كان التأييد ليأتي من الاعتبارات العامة الأعلى، بل من تطبيقها على الديناميكا. وكان من الواضح أن مبادئ نيوتن في الديناميكا لا تتفق مع النظرية الجديدة. ومن أجل إصلاح ذات البين كان من الضروري مراجعة طريقة التعبير عن كمية التحرك والطاقة الحركية بوصفيهما دالتين لسرعة الأجسام المتحركة. وهكذا، بات من الضروري إعادة كتابة معادلات نيوتن، بحيث تختلف المعادلات الجديدة والقديمة اختلافا ملحوظا فقط حينما

تقترب السرعات موضع الفحص من سرعة الضوء. وهذا على وجه الدقة هو ما فعله آينشتين بنجاح فائق، وكما هو معروف جيدا، هناك طاقة تعزى فقط إلى الكتلة، تعطينا إياها المعادلة الشهيرة $E = mc^2$.

وفي ما بعد سنجد أن هذه الطاقة التي تعزى فقط إلى الكتلة تكشف عن ذاتها في الفيزياء النووية، حيث الطاقة التي تربط البروتونات والنيوترونات في النواة تتمخض عن تناقص في الكتلة الكلية قابل تماما للقياس. بطبيعة الحال ليس هذا هو التأييد التجريبي الوحيد للنظرية النسبية، فسوف نرى المزيد والمزيد. على أي حال لن نحاول أن نحصي هذه التأييدات ها هنا، مادامت معروضة في الأدبيات المتخصصة. والأحرى من هذا أن نلقي الآن نظرة على النتائج والمحصلات.

النظرية النسبوية للجاذبية التثاقلية

على الرغم من كل ذلك النجاح، خلفت النظرية النسبية مشكلتين عويصتين لا تزالان بغير حل: مشكلة كيفية تطبيق النظرية النسبية حينما تكون سرعة أحد الملاحظين غير منتظمة، ومشكلة جعل نظرية الجاذبية التثاقلية لنيوتن ملائمة داخل الإطار الجديد.

لا تزال نفحة من المكان والزمان المطلقين تهب من نظرية آينشتين الأولى. أما تحولات لورنتس التي استخدمتها النظرية، فتنطبق فقط على ملاحظَيْن يتحركان بالنسبة إلى بعضهما بسرعة ثابتة، أي من دون تسارع نسبي. والآن تبدلت الأمور ليتضح أن مبادئ الديناميكا عند نيوتن، في أبسط صورة لها، ليست مقتصرة فقط على الزمان والمكان. فهي في الواقع تحتفظ بالصورة نفسها في أي نظام مرجعي (أو أي مختبر تجرى داخله القياسات) يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة إلى المكان المطلق. وتلك الأنظمة المرجعية المعينة تسمى الأنظمة الغاليلية لأنها الأنظمة التي ينطبق عليها مبدأ غاليليو للقصور الذاتي، أي المبدأ القائل إن الجسم الذي لا تؤثر فيه أي قوة يظل يتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة (*).

(*) يعرف هذا المبدأ أيضا بأنه قانون نيوتن الأول للحركة، بعد أن ضمنه كتابه «البرنكيبيا» العام ١٦٨٦. وينص على أن «كل جسم مادي يظل على حالته من السكون أو الحركة المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر فيه قوة خارجية تغير من حالته. وكان ابن سينا قد عبر عن مضمون هذا المبدأ في كتابه «الإشارات والتنبيهات» بقوله: «إنك لتعلم أن الجسم إذا خُلي وطباعه، ولم يعرض له من خارج تأثير غريب، لم يكن له بد من وضع معين. وشكل معين، فإذن في طباعه مبدأ استيجاب ذلك» [المترجمان].



لا تزال نظرية النسبية الخاصة تستبقي فكرة النظام المرجعي الغاليلي. ذلك أنه فقط في مثل هذه الأنظمة اتخذت الصياغة الجديدة للديناميكا الصورة البسيطة التي افترضها آينشتين. وهكذا، حتى لو لم يعد هناك مكان مطلق ولا زمان مطلق، فقد جرى تعيين مقولة معينة للأنظمة المرجعية بوصفها ذات خاصية محددة. وفي إعادة صياغة لقول جورج أورويل G. Orwell، يمكن القول إنه في خضم سائر الأنظمة المرجعية الممكنة أوالطرق الممكنة، يكون بعضها أكثر تكافؤا وتعادلا من البعض الآخر. وهذه مسألة تستدعي المزيد من التفكير والتأمل.

أما المشكلة الأخرى فتتعلق بالجاذبية التثاقلية. لقد حار نيوتن نفسه بشأن وجود قوى جاذبة تمارس فعلها من بُعد (*). وكذلك باتت هذه الصعوبة أكثر خطورة في النظرية النسبوية الجديدة، التي لا تسمح لأي ظاهرة فيزيائية بأن تنتشر بسرعة تفوق سرعة الضوء. وها هنا يلح السؤال: لنفترض أن ثمة العلة أ لتأثير جاذبي ما - مثلا، قذف كتلة معينة من المادة بواسطة الشمس - لاحظه مُلاحِظ. إن العلة أ أنتجت المعلول ب من بُعد، مثلا موجة من موجات المد والجزر على الأرض. هل يمكن للملاحظ أن يؤكد وقوع المعلول في الوقت نفسه لوقوع العلة؟ بالقطع كلا، لأنه يمكن تبيان أن ملاحظين آخرين في حركة بالنسبة إلى الأول سوف يرون المعلول يسبق العلة، وذلك كمحصلة لتحولات لورنتس. لم تعد صعوبات التفاعل من بُعد مجرد إثارة ميتافيزيقية، كما كانت في عصر نيوتن، بل هي مصدر لتناقضات داخلية، ولصميم هذا السبب، باتت المشكلة التي تثيرها موضعا للتحليل، هذا هو على وجه الدقة ما سوف ينطلق فيه آينشتين من العام ١٩١١ حتى العام ١٩١٦ .

لا بد له أن يواجه سؤالين مختلفين تماما: أن يعيد صياغة قوانين الديناميكا في نظام مرجعي اختياري تحكمي (**)، وعلى وجه الخصوص في نظام لا يكون التسارع فيه صفرا، وأن يكتشف نظرية للجاذبية لا يمكن فيها أن تمارس القوى تأثيرها اللحظي من بُعد.

(*) في الواقع، كان أشد ما أربك نيوتن ومعاصريه واقعة مفادها أن جاذبية التثاقل يمكن أن تنتشر في الفراغ، أما السؤال عن انتشارها اللحظي فقد أثير أخيرا [المؤلف].

(**) لاحظ هذه الصيغة «اختياري تحكمي» التي استعملناها للمصطلح arbitrary ولم يكن من الممكن وضع لفظ واحد دقيق ليقابله، فهو ليس «عشوائي» تماما كما تشيع ترجمته، كما أن عشوائي هو: random [المترجمان].



وسرعان ما أدرك آينشتين أن المشكلتين مرتبطتان. نحن نعرف أن التسارع يتكشف من خلال قوى القصور الذاتي، إنها قوى ليس لها أي فاعل ظاهر ولكنها قوى حقيقية جدا حتى أننا نخبرها في بطوننا حين نركب مزلجة، أو يشعر بها الطيار حين التغير الحاد في السرعات. يمكن أيضا أن ندرك تأثيرها في مصعد يتحرك سريعا. والآن، يلاحظ آينشتين أنني حين أكون داخل مصعد، من المستحيل تماما بالنسبة إلي أن أقول ما إذا كان الشعور بالوزن الذي يمر بخبرتي راجعا إلى تسارع المصعد، أم إلى قوة جاذبة حقيقية، أم إلى مجموعهما معا. لم تُجرَ قياسات داخل المصعد، ومن دون النظر خارجه، بمكتنا طرح السؤال. ويمكن أن نجد السبب في اتفاق غريب لاحظه نيوتن بالفعل: إنه تساوي الكتلة القصورية (التي تحدد رد الفعل للتسارع) وكتلة الجاذبية (التي تحدد قوة الجذب الناشئة عن الكتل الأخرى).

وهكذا، عن طريق إعادة صياغة قوانين الديناميكا في نظام مرجعي اختياري تحكمي يمكن أن نتفهم أي صورة ينبغي أن تتخذها قوانين الديناميكا في الإطار النسبوي. والآن سوف يجري آينشتين ملاحظة حاسمة، عن طريق متابعة الاتجاه المقابل الذي يؤدي إليه الطريق السائر من الخصائص النسبوية للمكان والزمان إلى الديناميكا. هذه المرة سوف يوضح قوانين الديناميكا في نظام مرجعي تسارعي عن طريق دراسة هندسة الزمان كما تُرى في مثل هذا النظام.

المثال الذي طرحه آينشتين بسيط تماما بحيث يمكن أن نعرضه ها هنا. هب أننا نركب دوارة تدور بحركة سريعة لدرجة تكفي لأن نشعر بآثار النظرية النسبية. حينئذ يمر التسارع بخبرتنا (ما لم يكن موضعنا على محور الدوران تماما) حيث إن قوته القصورية لا تعدو أن تكون القوة المركزية الطاردة. ولكن هل هذا هو كل ما يحدث؟ دعنا نقس بواسطة مسطرة نصف قطر المنصة الدائرية في تلك الدوارة. ومادامت السرعة من كل صوب وحدب متعامدة على نصف القطر، فإن المسطرة لا تخضع لانكماش فيتزجيرالد، ولهذا سنجد قيمة محددة لنصف القطر. والآن دعنا نقس محيط المنصة الدائرية عن طريق وضع عدة مساطر (صغيرة) مماثلة الواحدة تلو الأخرى على طول المحيط. السرعة هذه المرة من كل صوب وحدب موازية للمساطر، وتبعا لهذا ستخضع المساطر للانكماش النسبوي. بمقارنة طول المحيط بطول نصف



القطر لن نجد القيمة 2π، كما قد نتوقع، بل نجد رقما سوف يتوقف على نصف قطر المنصة وعلى قيمة سرعة دوران نقاط على المحيط. وهذا مدعاة للدهشة: مكاننا لم يعد أقليديا.

وهكذا، هندسة المكان في نظام مرجعي متسارع لم تعد تبدو أقليدية. وثمة اعتبارات مماثلة تبين أن مرور الزمن المقيس بالساعات يتأثر هو الآخر بالتسارع، وليس هو ذاته بالنسبة إلى ساعتين متماثلتين إحداهما موضوعة في المركز والأخرى على محيط المنصة الدوارة.

ولكن كيف يبدو المكان اللاأقليدي؟ تكون الإجابة ميسرة حين نتعامل مع مكان ثنائي الأبعاد. قارن مثلا السطح المستوي بالكرة، أو بسطح حبة بطاطس. السطح المستوي أقليدي: أقصر طريق بين نقطتين هو الخط المستقيم ومجموع زوايا المثلث قائمتان. يمكن أن تتفق الكائنات الثنائية الأبعاد التي تحيا على سطح حبة بطاطس على أن تسمي أقصر ممر بين نقطتين «خطا مستقيما»، وهو ما يسميه أهل الرياضيات الجيوديسي (*) (اسم يستدعي إلى الذاكرة أقصر خط بين نقطتين على سطح الأرض). سرعان ما سوف تدرك كياناتنا المفترضة أنها لا تعيش على سطح أقليدي، لأن مجموع زوايا المثلث على سطح الكرة أو سطح حبة البطاطس لا يساوي قائمتين. إن المكان منحن، كما هو واضح في حالة سطح الكرة.

ورب قائل، لكن هب أن حبة البطاطس موضوعة في مكان عادي ثلاثي الأبعاد، وهو مكان أقليدي. إنه حقا هكذا، ولكن ماذا لو اكتشفنا، كما في حالة الدوارة النسبوية، أن مكاننا الثلاثي الأبعاد ليس أقليديا؟ فهل سنفترضه مطمورا في مكان متخيل له أربعة أبعاد أو خمسة أو أكثر؟ وهل سيمتد احترامنا وإعجابنا بأقليدس إلى كل هذا المدى؟

إنه لتبسيط مُخل أن نتابع آينشتين ثم نتوقف عند مكان يستطيع الملاحظ أن يدركه ويقيسه: مكان من المؤكد أنه ثلاثي الأبعاد، لكنه ليس أقليديا. ولنبدأ من غاوس Gauss (**)، وهو رياضياتي علمنا كيف نصف مثل هذا

(*) الجيوديسيا هي علم قياس ورسم سطح الأرض، وبالتالي فهي العلم المعني بالقياسات المباشرة لحجم الأرض وشكلها وأبعادها، وأيضا تعيين الحقل الخارجي للجاذبية الأرضية. ويعد العالم الألماني هيلمرت F.R. Helmert هو مؤسس هذا العلم [المترجمان].

(**) يلقب العالم الألماني كارل فردريك غاوس بلقب أمير علماء الرياضيات (١٧٧٧ - ١٨٥٥) وذلك لإسهاماته البارزة في مجالات رياضية عديدة، منها نظرية الأعداد والإحصاء والجيوديسي والهندسة التفاضلية.. وأيضا البصريات والفلك وسواهما.. لا غرو إذن أن يرد اسمه مرارا وتكرارا في هذا الكتاب [المترجمان].



المكان من دون افتراضه مطمورا في مكان أقليدي ذي أبعاد أكثر، ويكفي تماما أن نطبق مثل هذا الأسلوب الفني. وهكذا، نجد مجددا أنه لا بد من إقحام المفاهيم التي لا يمكن التعبير عنها إلا رياضيا، والتي تتحدى الحدس.

الآن يمكننا أن نرى الطريق الذي نتبعه: أولا، الاعتبارات المتعلقة بالمكان وتلك الاعتبارات المختصة بالزمان يجب أن تندمج جميعها معا في شيء صوري منفرد ذي أربعة أبعاد: الزمكان. يمكن اعتبار هذا الشيء مكانا هندسيا مجردا يبين الانحناء. وكنتيجة لهذا، لم يعد من الضروري الالتجاء إلى النظم المرجعية الغاليلية لكي نطرح قوانين الفيزياء. يمكن صياغتها الآن في نظام مرجعي اختياري تحكمي، وبهذا تنطلق متحررة من آخر شظايا القوقعة النيوتونية. لم يعد مبدأ القصور الذاتي أفضل النظم المرجعية الغاليلية، وهو الآن يحمل بين طياته تأثير التثاقل: الجسم الخاضع للقوة التثاقلية فقط يصف جيوديسية في الزمكان.

ويبقى أن نجد بديلا لقوة التثاقل عند نيوتن. ومادام مبدأ القصور الذاتي الجديد يتضمن تأثير التثاقل، فلم نعد يعوزنا الحديث عن قوة، إذ يكفي أن نستطيع تعيين جيوديسيات الزمكان. ويمكن إحراز هذا إذا عرفنا هندسته، التي تحيلنا بدورها إلى تعيين انحنائه. وبهذا يرتد مجمل نظرية الجاذبية النسبوية إلى اكتشاف كيف يتعين انحناء الزمكان عن طريق الكتلة (أو بالأحرى الطاقة) التي يحتويها. ولكن تبعا لأي معادلات؟

سوف تستوعب هذه الصعوبة الأخيرة مجمل جهود آينشتين لفترة من الوقت، لأن المناهج الرياضية الضرورية لها لم تكن آنذاك معروفة للفيزيائيين. وهو ينجح في النهاية، في الوقت نفسه الذي نجح فيه هيلبرت، الذي أقنعه آينشتين بأن يعنى بأبحاثه. وهكذا خرجت إلى النور معادلة آينشتين الشهيرة، وليس من الملائم طرحها ها هنا. وفي هذا الصدد ثمة مزحة تتعلق بخيال آينشتين. إنه يعد على الملأ الأعلى عالم رياضيات، بينما هو قبل كل شيء عالم فيزياء يوقر المبادئ ولا يميل كثيرا للحسابات المعقدة، التي يعرف جيدا كيف يتفاداها. ألم يقل هيلبرت إن «السيد آينشتين يريد أن تحل الفيزياء محل الهندسة، على أن أي شخص يسير في شوارع غوتنغن يعرف الهندسة أكثر منه»؟ ومن الواضح أن «أي شخص» هنا تشير إلى تلاميذ هيلبرت، الذين كانوا جموعا غفيرة.

والأحرى بهذه الأقصوصة الصغيرة البارعة أن تعفينا من تطوير صورية النظرية النسبوية للجاذبية، فمن ذا الذي يستطيع التظاهر بأن يضع في بضع كلمات ما ثبت أنه كان خبرة أليمة لآينشتين نفسه؟ وأيضا سوف نحجم عن ذكر التطبيقات المدهشة على الثقوب السوداء أو على العلم الذي بات أخيرا يسمى الكوزمولوجيا، أو نظرية الزمكان في كليتها، أو - إن شئت - تاريخ الكون. والأفضل لنا أن ندخر جهدنا لآخر نظرية صورية في الفيزياء، ميكانيكا الكوانتم، التي كان مجالها أكثر شمولا وكانت معقباتها أكثر أهمية بالنسبة إلى نظرية المعرفة.

الذرة وما قبل تاريخها

الآن سوف نولي انتباهنا للمكونات الصغرى للمادة والإشعاع، وقبل كل شيء للذرات. وجدت الذرات في الطبيعة منذ مستهل البداية، أو على الأقل منذ مليون سنة بعد ميلاد الكون. ودعنا الآن نتجاوز تلك البلايين الأولى من السنين التي تشكل فيها اللحم والعظام منا، ونبدأ توا - ومرة أخرى - مع الاستنارة الإغريقية. وها هو لوقيبوس الذي عاش قبل سقراط بجيل كامل، والذي لا نعرف عنه أكثر من هذا، يدرك تماما الفكرة العجيبة عن الذرات،، بوثبة من وثبات الذهن لا نملك أن نقول عنها شيئا. في البداية جاء ديمقريطس تلميذه، وفي ما بعد أبيقور، وأخيرا لوكريتوس (في مقاطع شعرية رائعة ورائجة) ليخرجوا بنتائج أولية لتلك النظرية لن ننساها أبدا (*). لكن دعنا نتجاوز هذا الفاصل القصير لنلقي نظرة سريعة على ذرات ديكارت: إنها تشبه المخالب أو الكلابات لكي يمكن أن تشتبك الواحدة منها بالأخرى. وحتى الآن لا يوجد شيء ذو جدة حقيقية، ولكن ها هنا شيء ما بالغ الإثارة: في القرن الثامن عشر يبين دانيال برنوللي D. Bernoulli أنه إذا كانت الغازات مكونة من ذرات فالضغط يعود إذن إلى الاصطدام بجدران الإناء الحاوي للغاز، مما سوف يفسر لنا لماذا يعتمد الضغط على درجة الحرارة. فلكي يحدث هذا، لابد أن تكون الذرات

(*) يقال إن فرض الذرة أول ما عرف كان في الهند القديمة، أما المؤرخ والجغرافي اليوناني القديم سترابو فيرجع نشأة فكرة الذرة إلى موشوس Mochos الفينيقي الذي سبق لوقيبوس ببضعة قرون. من ناحية أخرى، تحدث علماء وفلاسفة الحضارة العربية الإسلامية كثيرا عن «الذرة» والمذهب الذري الذي قال به فلاسفة الإغريق، ولكنهم استخدموا لهذا مصطلح الجزء الذي لا يتجزأ أو الجوهر الفرد [المترجمان].



نابضة بنوع ما من الحركة المستديمة، تماثل تلك الحركة التي لاحظها عالم النبات روبرت براون في قطرة ماء شاهدها من خلال المجهر، حيث وجد حبوب اللقاح في حركة دائمة. لكن دعونا نتابع المسير.

رويدا رويدا سوف تتشكل فكرة الذرة على مدار القرن التاسع عشر، ويعود الفضل أساسا إلى عمل الكيميائيين. في القرن الأسبق، كان التمييز بين الأجسام البسيطة والمركبة قائما بالفعل. ثم يكتشف دالتون وغاي لوساك Gay-Lussac أن التفاعلات الكيميائية تستتبع دائما كتلا من الأجسام البسيطة (أو أحجاما من الغاز) وذلك بنسبة ثابتة من الأعداد الطبيعية. ويمكن تفسير هذا بافتراض أن الأجسام البسيطة مؤلفة من نوع واحد من الذرات، والأجسام المركبة مؤلفة من جزيئات شكلت من عدة ذرات. هكذا اكتسبت الفكرة أساسا، بشكل بطيء لكنه متين، وقد يتصادف أن يؤازرها عارض مفاجئ أو تعوقها مقاومة عنيدة. وجد مناصرو النظرية الذرية دعما باكتشاف قوانين التحليل الكهربائي، ثم بتفسيرات العديد من ظواهر الكيمياء العضوية. بدأ العلماء يتفهمون شكل التركيب البنائي للجزيئات، ولكن بقيت بعض المشاكل العسيرة. فكيف يمكن تفسير واقعة مفادها أن بعض الذرات قد تصد ذرات أخرى، كما يحدث حين محاولة ضغط المادة، وفي الوقت ذاته ترتبط معا لتشكل الجزيئات. وثمة خصائص أخرى غريبة، بدت كأنها رجع الصدى، ساعدت في إذكاء أوار نقد المتشككين.

ظهرت تعقيدات جديدة مع نهاية القرن، وذلك باكتشاف أن الذرة ليست أصغر وحدة للمادة. فقد اكتشف ج. ج. طومسون في العام ١٨٩٧ جسيمات صغيرة جدا ذات شحنة سالبة، سميت «الإلكترونات» (*). الإلكترونات يقذفها كاثود [مهبط] أنبوب الأشعة السينية، وجسيمات أخرى سميت الأيونات، أثقل كثيرا تخرج من الطرف الآخر، الآنود [المصعد]. فهل يمكن أن تكون الذرة atom (واسمها الذي لا نزال نستعمله بالإغريقية يعني «ما لا يقبل الانقسام») مكونة في الواقع من جسيمات أصغر، وعلى وجه الخصوص من إلكترونات؟ كانت هذه الفكرة جذابة، لأن لورنتس قد بين

(*) السير جوزيف جون طومسون (١٨٥٦ - ١٩٤٠) فيزيائي بريطاني، أعلن عن كشفه للإلكترون العام ١٨٩٧، وحصل على جائزة نوبل في الفيزياء العام ١٩٠٦ . وهو والد الفيزيائي جورج طومسون (١٨٩٢ - ١٩٧٥) الذي ساهم في اكتشاف الطبيعة الموجية للإلكترونات والحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء العام ١٩٣٧ بالاشتراك مع كلنتون دافيسون (١٨٨١ - ١٩٥٨) [المترجمان].



أنها تزودنا بتفسير واضح للعديد من الخصائص الكهربية والمغناطيسية للمادة. لسوء الحظ تبرز مجددا عقبة كبرى، لأنه لا يبدو أن ثمة شيئا يميز الموصل عن العازل الكهربي.

على سبيل التجاوز لنذكر محاولة رايلي Rayleigh (*) في العام ١٨٩٩، وفقط من أجل الجمال الكامن فيها، فقد فسّر زرقة السماء بانتشار ضوء الشمس بواسطة الجزيئات في الغلاف الجوي. البقية الباقية تستحق هي الأخرى الذكر: بسبب هذا الانتشار، يفقد الضوء المنبعث من الشمس جزءا من طاقته، لاسيما في النطاق الأزرق من الطيف الضوئي. وبتوغل أشعة الشمس في الغلاف الجوي، يختفي أيضا الأخضر ثم الأصفر، وحين يكون الساتر الممثل في الغلاف الجوي في أكثف حالاته، كما في حالة الشروق وحالة الغروب، لا يبقى إلا توهج من الأحمر والبرتقالي. على أن القصة لا تنتهي هنا. فذات مرة كان اللورد رايلي في دارجيلنغ، وهي قرية عند سفوح الهملايا يفضل السادة الإنجليز أن يلوذوا بها من هجير الصيف، ولاحظ أن المنحدرات الجليدية عند قمة إيفرست، التي تبعد بضع مئات من الكيلو مترات، تبدو مصبوغة باللون الأخضر. ومن كثافة طبقة الغلاف الجوي التي لابد أن يخترقها الضوء لكي يصل إلى الجبل، استنبط عدد أفوغادرو. أي عدد الذرات في كتلة معطاة، مثلا، عدد ذرات الهيدروجين في غرام واحد من الهيدروجين، أو عدد ذرات الأكسجين في ثمانية غرامات من غاز الأكسجين. هذا العدد طوله أربعة وعشرون رقما، مما يبين كيف أن الذرات صغيرة الحجم. في حاجة إلى استخدام وحدة خاصة من الطول لكي نقيس حجمها، وهي وحدة الأنغستروم angström، المكافئة لواحد على عشرة بلايين من المتر.

في العام ١٩٠٥، كان آينشتين لا يزال مضطلعا بسؤال الحركة البروانية، الحركات العشوائية لحبوب اللقاح في قطرة الماء كما ذكرنا آنفا. يقول آينشتين إن هذه الحركة تنشأ عن الاصطدامات العديدة لجزيئات الماء بحبوب اللقاح أو بأي جسيمات أخرى دقيقة. وإذ تابع مسار فكرته وصولا إلى معقباتها الكمية، بات قادرا على التنبؤ بمعدل المسافة التي يقطعها الجسيم

(*) البارون وليم ستروت رايلي (١٨٤٢ - ١٩١٩) عالم بريطاني في الفيزياء والكيمياء والرياضيات. قدم في العام ١٨٩٦ تفسيرا واضحا لسبب زرقة السماء وحمرة الشفق، وحصل على جائزة نوبل في الفيزياء العام ١٩٠٤ لأبحاثه على كثافة الغازات ولكشفه عنصر الأرغون، هو أحد العناصر الخاملة [المترجمان].



في فاصل زماني معين. وسرعان ما وجد تنبؤه تأييدا تجريبيا من جان بيرن Jean Perrin، وعادة ما تعد هذه الحادثة بمنزلة العلامة الدامغة على أن وجود الذرة بات معروفا بشكل عام.

في العام ١٩١١ سوف نتعلم المزيد والمزيد عن طبيعة الذرة، والفضل هنا يعود إلى إرنست رزرفورد (*). كان يعمل في تجارب حيث تنتج جسيمات ألفا عن طريق تحلل الراديوم بمروره من خلال شريحة معدنية رقيقة. لوحظت الجسيمات تنفصل بخفة عن مسارها المبدئي. ومادامت جسيمات ألفا مشحونة، فربما يعود التأثير إلى قوى كهربائية، على أن الإلكترونات في الذرات أخف كثيرا من أن تفسر الانحرافات. حينئذ قام رزرفورد بتحليل المعطيات وبيّن أن التفسير الوحيد هو وجود «نواة» ذات شحنة موجبة في مركز الذرة، حيث يتركز ما يقرب من مجمل كتلة الذرة. وكان هذا أول نموذج مُرض للذرة: نواة تحوطها إلكترونات. والآن تبذل النواة قوة كهربائية لجذب الإلكترونات، تماثل في شكلها قوة الجاذبية، وإن لم تكن تماثلها في مقدارها. وفي الشكل النهائي للذرة الناجم عن هذا، يحتل الفراغ القطاع الأكبر إلى أبعد الحدود، والإلكترونات تدور حول النواة، مما يطرح بنية ملائمة تماما لتطبيق المناهج المعروفة للميكانيكا.

وربما يهتف المرء: يا له من تصور جميل وبسيط! ولكن الواقع الصلب سرعان ما يمسك بخناقه. وطويلا ما تميز تاريخ الذرة بمشكلات جديدة تقتحم كل تقدم يلوح في الآفاق. فلم يقدم نموذج رزرفورد أي تفسير للخصائص الكيميائية للذرات، لكن ليس هذا أسوأ ما في الأمر. فالإلكترون الذي تجذبه النواة لا بد أن يتسارع، ومنذ معادلات هرتز ونحن نعلم جيدا أن الجسيم المشحون المتسارع يقذف موجات كهرومغناطيسية. ولا بد أن هذه هي حال إلكترونات الذرة، وبتأثير كبير على وجه الخصوص، لأن الإلكترون خاضع لتسارع هائل داخل الذرة، كتلته ضئيلة جدا ويخضع لقوى كهربية ذات اعتبار. وثمة حساب بسيط يفضي إلى كارثة: في جزء من الثانية لا بد أن يصدر الإلكترون إشعاعا بسرعة تستنزف طاقته، وفي الآن نفسه ينتقل بمجمل كم السرعة في اتجاه النواة تعويضا للطاقة التي

(*) إرنست رزرفورد (١٨٧١ - ١٩٣٧) فيزيائي بريطاني حائز على جائزة نوبل في الكيمياء العام ١٩٠٨، نتيجة لبحوثه حول كيمياء المواد المشعة وتحلل العناصر، وكان عمره ٣٧ عاما. يلقب بأبي الفيزياء الذرية والنووية، برغم حصوله على جائزة نوبل في الكيمياء لا الفيزياء [المترجمان].



فقدها. وعلى هذا لا بد أن تنهار الذرة لحظيا. لا بد أن ثمة خطأ ما، لكن لا أحد استطاع أن يعينه. ما لم... ما لم تنهر قوانين الفيزياء ذاتها ولا تعود صالحة للمجال الفيزيائي.

لم يكن هذا الفرض غير قابل للتصديق تماما، لأن شيئا ما مماثلا قد حدث منذ عقد سبق بخصوص مشكلة مختلفة تماما: الطيف الذي يشع من جسم أسود. ما يسميه الفيزيائيون جسما أسود لا يعدو أن يكون أي جسم أسود، من دون انبعاث بصري ملائم. يمكن ملاحظة أن لون الإشعاع الذي يصدره مثل هذا الجسم، أي طيفه، يعتمد فقط على درجة حرارة الجسم. تستبان هذه الظاهرة عندما تصبح قطعة من المعدن أو من الفحم حمراء اللون حين تبلغ حرارتها مئات الدرجات، ثم تتوهج باللون الأبيض حين تبلغ الحرارة آلاف الدرجات. ويقال عن هذا إن طيف الإشعاع هو توزيع طاقة مضيئة تنبعث كدالة للتردد (أو لطول الموجة). وأيضا في هذه الحالة اعتقد الفيزيائيون أنهم استطاعوا حل المشكلة نظريا وحساب الطيف مستعملين قوانين الديناميكا الحرارية. ولكن مسار التفكير ها هنا أدى إلى خلف محال: ينبغي لقطعة الفحم أن تصدر ضوءا شدته لامتناهية!

في العام ١٩٠٠، وجد ماكس بلانك (*) ما يمكن أن نسيء وصفه بأنه «حيلة» أو «خدعة» لتجنب هذه المشكلة. فقد افترض أن ذرات الفحم لا تصدر الإشعاع بانتظام، كما يمكن أن نتوقع وفقا لقوانين الديناميكا الكهربائية، بل ينبعث عنها كميات أو كوانتات (**) من الإشعاع، وتتناسب الطاقة المنبعثة في كل كم مع التردد. بدقة أكثر، نقول إن بلانك افترض أن الطاقة المنبعثة على هذا النحو معادلة لحاصل التردد تبعا لعدد يُعرف الآن باسم ثابت بلانك، وهو عدد بالغ الضآلة تبعا للمقاييس الإنسانية. ومن الملاحظ أن هذا الفرض بالغ البساطة، حتى إن كان لا يسهل استيعابه للوهلة الأولى، فقد تمخض عن توافق كامل مع أي شيء يمكن ملاحظته أو قياسه.

(*) ماكس كارل بلانك (١٨٥٨ - ١٩٤٧) M.K. Planck فيزيائي ألماني، نال جائزة نوبل في الفيزياء العام ١٩١٨ لاكتشافه عنصر الكم أي الكوانتم كوحدة للطاقة المنبعثة من الأجسام واضعا بذلك أساس نظرية جديدة ونظرة جديدة يؤرخ بها لنشأة الفيزياء الحديثة المفارقة للفيزياء الكلاسيكية ابتداء من العام ١٩٠٠، وتعرف بنظرية الكم أو بالكوانتم، والتي هي موضوعنا أولا وأخيرا [المترجمان].

(**) تعود كلمة كوانتم إلى أصل لاتيني، وهي ببساطة تعني «كمية معينة مقيسة بعدد صحيح» [المؤلف].



ومادام فرض بلانك قد قهر صعوبة متعلقة بالإشعاع، فلا يجافي الواقع أن نتوقع فكرة مماثلة قد تستطيع تفسير غياب الإشعاع المنفلت في ذرة رزرفورد. وبقي أن نجد سبيلا لوضع ثابت بلانك في قلب الصورة.

الفيزياء الكلاسيكية تُلزَم حدودها (*)

كان شرف الوصول إلى الحل من نصيب نيلز بور (**)، وكان آنذاك شابا دانمركيا يعمل تحت إشراف رزرفورد. وضع بور محصلات بلانك ومحصلات رزرفورد معا، واقترح في العام ١٩١٣ ديناميكا جديدة للذرة، مهيأة للمجد والأبهة. كان نموذجه للذرة محافظا، بمعنى أنه يعدّل الفيزياء الكلاسيكية فقط في أقل الحدود الممكنة، والواقع أن النموذج يستبقي كل القوانين الكلاسيكية، ثم يفرض شرطا واحدا إضافيا. درس بور بصفة خاصة ذرة الهيدروجين بسبب بساطتها. هذه الذرة لها إلكترون واحد فقط، يجب أن ينجذب ليدور حول النواة في مدار إهليلجي، تبعا لقوانين كبلر. ولكي نحول دون انهيار الإلكترون، افترض بور أن مدارات معينة هي فقط التي يمكن وصفها فعلا، وأن الإلكترون لا يمكنه الإشعاع إلا حين الانتقال عبر أصغر هذه المدارات. وحين يشع الإلكترون بالفعل، فإنه يقذف كمّا، كوانتم من الطاقة المضيئة.

كيف يمكن اختيار الإهليلج المجاز؟ الواقع أن الإجابة عن هذا السؤال بالغة البساطة، لأنها لا تتطلب إلا طرح شرط من دون أي معطيات جديدة اللهم إلا ثابت بلانك. ولنقل إنه من دون تدوين أي معادلة، لا شيء جوهري إلا قاعدة واحدة ممكنة وهي التي صادر عليها بور. باختصار، أضاف بور قانونا واحدا إلى النظرية الكلاسيكية للذرة، وهو القانون الذي يرد فيه ثابت بلانك. وبات حل بور ذا محصلات مذهلة وبعيدة المدى: لا بد أن يناظر كل مسار إهليليجي طاقة محددة ومعروفة تماما، التعبير عنها يتضمن كتلة الإلكترون وشحنته وثابت بلانك، جميعها بمعية عدد صحيح، يسمى عدد الكوانتم quantum number، هو علامة دامغة للمدارات المتتالية بدءا من الأصغر. أيضا صادر بور على أن

(*) الترجمة الحرفية للتعبير الذي وضعه المؤلف هي «الفيزياء الكلاسيكية في سترة المجانين». وهو يقصد تلك السترة التي تقيد المجنون الهائج فتمنعه من الحركة وتلزمه حدوده، وجدنا هذا التعبير أجمل أو ربما أوقع مما ينبغي، فآثرنا هذه الترجمة المعتدلة التي هي عين المعنى المقصود [المترجمان].

(**) نيلز هنريك بور (١٨٨٥ - ١٩٦٢) N.H. Bohr فيزيائي دانمركي حصل على جائزة نوبل العام ١٩٢٢ لأبحاثه في تركيب الذرة وانبعاث الإشعاع، وهو والد الفيزيائي آجي بور الذي حصل جائزة نوبل عام ١٩٧٥ بالاشتراك مع عالمين آخرين، لبحوثهم الرائدة في شكل وتركيب نواة الذرة [المترجمان].



الإلكترون لكي يشع، لابد أن ينتقل فجأة من مدار إلى آخر ذي طاقة أقل (وتلك هي قفزات الكوانتم الشهيرة) وأن الطاقة المنطلقة بهذه الطريقة تربطها علاقة بلانك بالضوء المنبعث. وباستخدام هذه النظرية، تنبأ بور لاحقا بترددات الإشعاع الذي يمكن أن ينبعث تلقائيا عن ذرة الهيدروجين. تشكل هذه الترددات ما يعرف بأنه طيف الإشعاع الذري، الذي طالما خضع للملاحظة والقياس قبل بور بزمن. وكان التوافق عظيما بين النموذج وبين القياسات.

هذه النتيجة الجميلة بهرت كثيرين، في طليعتهم آينشتين. فقد كان من الممكن أن يبتهج فقط بالاتجاه العام الذي تشير إليه هذه النتيجة. إنها تستبقي خطى التقدم المحرزة بفضل الفيزياء المعروفة وقد ازدادت ثراء بمكتسب جديد، ظروف قادرة على اصطفاء الحالات الممكنة للذرة التي تحتفظ بالملامح الجوهرية للنموذج القديم. باختصار، زادت قائمة القوانين التي يعرفها الفيزيائيون، لكن من دون أن يحدث تعديل حقيقي للطريقة التي ينظرون بها إلى الأشياء. وتلك الفكرة عن الفيزياء المألوفة التي تخضع لقيود جديدة، هي ما نستطيع أن نقول عنه، ربما بشيء من الاختيال، إن الفيزياء الكلاسيكية تلزم حدودها.

تبع هذا حقبة من البحث المكثف، يهيمن عليها إسهامات بور وأرنولد سمرفلد A. Sommerfeld. اتجهت الجهود المبذولة شطر مد نطاق القصة الناجحة مع ذرة الهيدروجين إلى ذرات أخرى أكثر تعقيدا. لسوء الحظ، كانت النتائج مخيبة للآمال، وما دامت النظرية تصبح مصقولة أكثر وأكثر، والتجارب تصبح عديدة مديدة أكثر وأكثر، فإن الهزائم أكثر كثيرا من الانتصارات. مثلا، تأثير مجال مغناطيسي في ترددات طيف ذري (تأثير زيمان) أو تأثير مجال كهربي (تأثير شتارك) أديا إلى أسوأ المواقف الممكنة. كانت النتائج مقبولة بالنسبة إلى خطوط طيفية لبعض الذرات وغير مقبولة إطلاقا بالنسبة إلى البعض الآخر، ولم يستطع أحد تفسير الأسباب. أما بالنسبة إلى روابط مع الكيمياء التي كان كل شخص ينتظرها، فقد ظلت دائما سرابا مراوغا. وإذا كان تصنيف الذرات في جدول مندليف الذري مفهوما من ناحية ما، فما زلنا نفتقد أي إشارة لكيفية تعين الخصائص الكيميائية. صفوة القول، إن حركة الفيزيائيين قد كُبحت.

اغتيال الفيزياء الكلاسيكية

قبيل أن تحدث هذه الوقائع، كان الشاعر الفرنسي آرتر رامبو قد رأى «زمان القتلة السفاحين» آتيا. إنهم أولئك الشبان وقد باتوا على مقربة، بعضهم مازال في شرخ الشباب، ولا يتورعون عن سحق تركة أسلافهم. ربما



كان هذا قبيحا جدا بالنسبة إلى نيوتن وماكسويل، وقبيحا جدا بالنسبة إلى الحس المشترك الذي تجمع لدى الجنس البشري بأسره عبر القرون، إذا ما كان الحس المشترك سيتدخل في الأمر. لقد حان الوقت الذي لابد أن ترتفع فيه الفيزياء إلى مستوى الحدث، أن تلحق بالنظرية، سواء أكانت النظرية واضحة أم لا، بسيطة أم غير بسيطة، لا يهم هذا؛ ولكن لا مندوحة عن أن نأخذ الوقائع في اعتبارنا، الوقائع جميعها.

بالقطع لم يضمر هؤلاء الشبان ذوو الخلق الحميد توجهات فوضوية (*)، نميل في ما يبدو إلى إلصاقها بهم. لقد كانوا يبحثون عن حل نزيه بأشرف الطرق المتاحة، وبالقطع ليست جريرة تدينهم أن ينقلب وضع هذا الحل ليغدو حاملا ثورة من هذا القبيل (**). لكن دعنا نبدأ من المقدمات: ها هو ذا لوي دي بروي Louis de Broglie، الذي ينتسب لعائلة عريقة، تتربع في التاريخ، وكان أضعف من أن يقوم بالدور الذي سوف يلعبه، وقد سرى إليه حب الفيزياء من خلال أخيه موريس المتخصص في الفيزياء. حينما بدأ يعمل في الفيزياء كان في الحادية والثلاثين من عمره. في هذا الأوان نفسه كان فيرنر هيزنبرغ قد عشق الفيزياء، تعلم في المدارس الألمانية وكان شغوفا بالكلاسيكيات الإغريقية على وجه الخصوص. وحين تقدم بأول إسهاماته العظمى لم يكن قد تجاوز الثانية والعشرين. ويتلوه صديقه النمساوي فولفغانغ باولي Wolfgang Pauli، عبقرية تفجرت مبكرا، فقبل أن يبلغ عامه العشرين كتب مقالا متميزا يعالج النظرية النسبية. وثمة أيضا الإنجليزي بول ديراك Paul Dirac شاب في مثل أعمارهم. وجاء من جامعة كمبريدج المهيبة. يعلو هذا الجيل من الشباب الغض أئمة يكبرونهم بحوالي عشر سنوات: ماكس بورن وهو فيزيائي ألماني عالمي، في مرحلة أسبق كان مساعدا لهيلبرت في غوتنبرغ حينما كان رائده منشغلا بالفيزياء؛ ونمساوي آخر هو إيرفين شرودنغر Erwen Schrödinger، وهو تلميذ لسمرفيلد الذي ظل دائما على

(*) الفوضوية أو اللاسلطوية anarchism ومصطلح في فلسفة السياسة يفيد موقف أولئك المناهضين لمفهوم الدولة ويرونها شرا لا داعي له. إنهم ينشدون مجتمعا بلا دولة، أي بلا سلطة حاكمة تقوم بالإدارة والتنظيم، فحتى لو كان هذا وضعا فوضويا فهو أفضل من قمع الدولة وما تفرضه من واجبات والتزامات. لذلك يقال عنهم الفوضويون. والأفضل اللا سلطويون [المترجمان].

(**) من المعروف أن تلك الفترة التي أعقبت الحرب العالمية الأولى شهدت أيضا موجات ثورية أخرى تستثير الدهشة والتساؤل، مثل تلك الموجة الثورية التي حملتها السريالية. بيد أن هذا لا يؤثر في حجتنا الرئيسة [المؤلف].



غير يقين من ماهية الرسالة الحقة له، ولكن التأسيس الرياضي الذي ظفر به كان دائما رهن الاستعمال. فلترقبهم وهم يدلفون إلى الساحة منبهرين بالمظهر الأخاذ لآينشتين وبور، وهما على استعداد لتشجيعهم أو تصويب أخطائهم، حسبما يقضي الحال.

يفتتح هيزنبرغ النقاش، وسوف ننصت إليه لبرهة. إنه لا يتردد في أن يضع أسس الفيزياء الكلاسيكية موضع التساؤل، وأن يتحدى معظم تصوراتها. يتعجب مما إذا كنا على يقين من أن مفاهيم الموضع والسرعة تنطبق أيضا على أشياء من قبيل الإلكترون. من المستحيل أن نعرف بدقة ما إذا كان الإلكترون داخل الذرة، لأنه سوف يكون لزاما علينا أن نستخدم نوعا من الوسائل والأدوات المعملية لا ينتج عنها إلا تدمير الموضوع الذي نلاحظه. وبجانب الاستحالة العملية في تحديد الموضع، هل يمكن أن يكون الأمر هو أن قوانين الفيزياء تستبعد صميم فكرتها، ولا نستطيع أن نستخدم إلا التصورات التي يمكن التحقق منها تجريبيا؟ ويعتقد هيزنبرغ أن آينشتين هو الذي ألهمه بطرح هذا السؤال الأخير، فقد وضع آينشتين المفاهيم التقليدية للزمان والمكان موضع التساؤل، تلك المفاهيم التي لم تكن تعترف إلا بما يمكن قياسه في المعمل بالمساطر أو بالساعات.

ويتساءل هيزنبرغ: إذا كان علينا أن نعمل من دون الأفكار الكلاسيكية عن الموضع والسرعة، فما الذي يمكننا أن نحله محلها؟ ومادام علينا أن نقلع عن التأييد الآتي من الحدس المرئي، فلا بد أن نلتجئ إلى أحضان المفاهيم الصورية. ولكن لابد أن يجد أولا الموضوعات الرياضية التي ستحل محل التصورات العادية. ثم اضطلع هيزنبرغ بتأملات يستحيل متابعتها من دون خلفية من المسائل الفنية الدقيقة. وهاك تخطيط موجز: تسارع الإلكترون في منشأ الإشعاع لا يفصح عن نفسه إلا في زمان قفزة كوانتية بين حالتي كوانتم من حالات الذرة. وهكذا، فإن موضوع «التسارع» ليس بالقطع رقما، كما اعتدنا أن نراه، بل يعتمد على الحالتين الأولية والنهائية للذرة في صميم اللحظة التي تحدث فيها قفزة الإلكترون. وبالتالي إذا قمنا بإحصاء الحالات المحتملة للذرة، مثلما فعل بور بالأعداد الكوانتية التي تميز مستويات الطاقة، فسوف يصبح التسارع كما يعتمد على أعداد الكوانتم الخاصة بالحالتين الأولية والابتدائية. وبالتالي يمكن أن يحل محل التسارع جدول لأعداد



الكوانتم. ثم ينجح هيزنبرغ في إعادة صياغة أساسيات قوانين الميكانيكا مستخدما مثل هذه الجداول. لقد استأمن هيزنبرغ ماكس بورن على اكتشافاته وبالمثل تماما على مواطن حيرته، وفي العام ١٩٢٤عمل ماكس بورن على تشجيعه لنشر النتائج التي وصل إليها. بعد أن أخبره بأن الرياضيين قد أسموا جداوله المصفوفات.. وبمساعدة باسكوال جوردان - وهذه المساعدة مدد ذو قيمة عالية من المعرفة بهذه الكيانات التي لم تستخدم بعد إلا قليلا - سرعان ما استحدث مقاربة كاملة تقريبا لميكانيكا جديدة، مصحوبة بعدد هائل من التوقعات والنتائج الثمينة والمقنعة. عُرفت هذه النظرية الجديدة بعد ذلك باسم ميكانيكا المصفوفات.

قبل هذا، في العام ١٩٢٣ نشر لوي دي بروي فكرة مختلفة تماما، لكنها لم تؤتِ ثمارها الأولى إلا بعد أن نشر هيزنبرغ نتائجه. وهذا هو سبب مناقشة الإسهامين بترتيب زمني معكوس. ذلك أن فكرة دي بروي كانت مبنية على عمل سابق لآينشتين الذي قام بتفسير كوانتات الطاقة الضوئية، بالإضافة إلى خصائص التأثير الكهروضوئي (حيث تنبعث إلكترونات من سطح فلز معرض لضوء) كنتيجة لوجود مقادير ضئيلة grains جدا من الضوء هي الفوتونات. ومن ثم فإن آينشتين يكون قد أحيا الفكرة القديمة عن الطبيعة الجسيمية للضوء. وشرع في إثبات أن وجود الفوتونات لا يناقض ظواهر التداخل، وإن كان إثباته غير تام. فالضوء الذي يبرهِن على نفسه عادة بأنه موجة، يتكون من جسيمات. وتساءل دي بروي: لماذا لا تُقلب هذه الفكرة رأسا على عقب، وتعمم بافتراض أن كل جسيم أولي، وليكن إلكترونا على سبيل المثال، يظهر عادة كجسيم، إنما يكون مصحوبا بموجة لم نتصورها بعد، لها دالة موجية wave function لا نتخيلها؟

لا بد من مرور عدة سنوات حتى يمكن إثبات هذه الفكرة تجريبيا باستخدام تأثيرات الحيود، وهي تأثيرات موجية خالصة، تناظر تأثيرات التداخل، وتنتج عن إلكترونات تمر خلال بلورة. سبق أن عنت فكرة دي بروي لآينشتين الذي ناقشها مع سمرفلد. ثم طرح الأخير على تلميذه شرودنغر بعد ذلك السؤال التالي: كيف يتسنى حساب موجة لوي دي بروي لإلكترون في داخل ذرة ما، وكيف يمكن صياغة ديناميكيات هذه الموجة، أي الطريقة التي تنتشر بها كدالة في الزمن؟



سرعان ما اكتشف شرودنغر في تلك السنة نفسها، أي العام ١٩٢٦، حلا للمشكلة، واقترح معادلة تصف ديناميكيات الموجة، عُرفت بعد ذلك باسمه، وأخضعها للاختبار عن طريق حساب طيف ذرة الهيدروجين؛ فوجد أن النتائج التي توصل إليها مطابقة لنتائج بور. وفسر كذلك عددا من الظواهر الدقيقة التي لم يمكن تعليلها بطريقة بور أو بطريقة سمرفلد، كما شرع بصورة خاصة في إعادة استنتاج النتائج التي حصل عليها هيزنبرغ.

هل يمكن صياغة معنى معادلة شرودنغر Schrödinger's equation • السحرية في كلمات؟ لا يبدو الأمر كذلك، وها نحن مجددا غائصون في فيزياء صورية. ويستحيل القول، كما اعتاد فولتير أن يفعل بشأن ميكانيكا نيوتن: «العجلة هي العلاقة بين القوة والكتلة، كما ترى، والباقي مجرد حسابات فقط». ونحن من جانبنا لا يمكننا إلا القول إن معادلة شرودنغر تتضمن الطاقة الكهربية للتأثر بين النواة والإلكترونات، وأيضا بين الإلكترونات بعضها ببعض، ويدخل فيها أيضا كتلة كل من الإلكترون والنواة، ودور النواة أقل. وهي معادلة لا تثير الإعجاب الشديد في بادئ الأمر، على الرغم من أنها تزخر بخصائص ومميزات دقيقة؛ فهي معادلة تفاضلية جزئية، بمعنى أنها تحتوي على مشتقات جزئية يماثل غموضها غموض معادلات ماكسويل. ما الذي يمكننا إضافته؟ في الواقع لا شيء غير تدوينها، ولكن هذا بالطبع ليس مكانه هنا.

لقد برهنت الميكانيكا الجديدة مباشرة على خصوبة نتائجها التي كانت في الأعم الأغلب متسقة تماما مع التجربة، ولم تتعارض أبدا معها لفترة طويلة من الزمن. وتم التخلص أخيرا من البلاء الذي أصاب المرحلة الأولى من عمر الفيزياء الجديدة، وطوى النسيان فترة شهدت تولد صعوبات جديدة مع كل خطوة للأمام، فكانت أشبه بكابوس مزعج. والآن كل عقبة تصبح على الفور مصدرا لتقدم يحمل معه تعليلا لظواهر أخرى عديدة. لقد نجحت الميكانيكا الموجية لشرودنغر ودي بروي، وميكانيكا المصفوفات لهيزنبرغ، بنتائج متطابقة، حيث عملت معا بتناغم واتساق على الرغم من واقعة مفادها أنها بدت مختلفة بدرجة كبيرة.

وفي حقيقة الأمر، لم يستخدم شرودنغر أي مصفوفات، ولم يكن للموجات أي مكان في منظومة هيزنبرغ. فأي النظريتين سوف تكون لها الكلمة الأخيرة؟ الغريب تماما أنه لا هذه ولا تلك، لأن كلا من ديراك وشرودنغر قد

أوضحا حتى الآن - العام ١٩٢٦ - أن النظريتين المختلفتين ظاهريا هما في حقيقة الأمر نظرية واحدة، ويمكن تحويل إحداهما إلى الأخرى بمعالجة رياضية خالصة. واستقر الرأي حينئذ على عدم تفضيل أي منهما على الأخرى، على أن تُسمى النظرية المؤلفة على هذا النحو باسم ميكانيكا الكوانتم. في الوقت الحاضر، يقع الاختيار عموما على تصور تجريدي للنظرية يُعزى أساسا إلى ديراك وفون نيومان. لكن ليس من الضروري هنا أن نأخذ هذا في الاعتبار، حيث إن أهميته فنية تكنيكية إلى حد بعيد، فضلا عن عدم اشتماله على أي مبادئ مختلفة أساسا. ولا يزال هناك تصور آخر، مكافئ هو الآخر للتصورات الأخرى ويلقي ضوءا جديدا على بعض جوانب النظرية، سوف يطرحه مع بداية خمسينيات القرن العشرين الفيزيائي الأمريكي فينمان. بيد أن الفروق الدقيقة واللطائف الحاذقة لا تهم إلا لاهوتيي الفيزياء.

حصاد النتائج

قبل عرض مبادئ نظرية الكوانتم وتأثيرها في فلسفة المعرفة، ربما يكون من المناسب إعطاء فكرة بسيطة عن نطاق هذه النظرية ووفرة نتائجها، إذا ما حكمنا فقط على الأهمية المتصلة بها. لهذا سوف نستعرض بإيجاز شديد، وبصورة غير كاملة، حصاد نتائجها المؤثر والمثير للإعجاب دون أن نعطي اهتماما كبيرا للتواريخ أو الترتيب الزمني، وذلك لأن التطبيقات بدأت في التطور على جبهات عدة في وقت واحد لتبدأ جميعها مع العام ١٩٢٧، حيث بلغت النظرية أوج كمالها في تلك السنة، وظلت على حالها دون أن تتغير عمليا حتى يومنا هذا.

لنبدأ بالكيمياء التي كانت - على الرغم من كل شيء - نقطة البدء في أحداث القصة كلها. تساعدنا معادلة شرودنغر على حساب الدالة الموجية للإلكترونات في أي ذرة أو جزيء (الحسابات الضرورية بالغة الصعوبة من الناحية العملية، ولم تصبح متيسرة إلا بعد استخدام الحاسوب). ولهذا يمكن حساب مستويات الطاقة الممكنة لجزيء ما وتعيين احتمالية وجود أي منها عند اتحاد ذرتين أو أكثر معا. كذلك يمكن معرفة مواضع الذرات المكونة للجزيء، وفي حالات عديدة يمكن معرفة طبيعة التفاعلات الكيميائية



وحساب كفاءتها وسرعتها. وهكذا أصبحت الكيمياء برمتها سهلة المنال: أولا، وبطبيعة الحال، عن طريق التفهم التام لجدول مندليف، بالإضافة إلى الاستيعاب الكامل لبنية الجزيئات وخصائصها الكيميائية (مثال ذلك الشكل اللولبي لجزيء الدنا DNA) واتضحت ظواهر الرنين التي كانت محيرة في ما سبق، كما اتضحت التغيرات الشكلية التي كانت تتخذها جزيئات معينة، على الرغم من أن أسبابها ظلت مدفونة في الصورية ولم يمكن التعبير عنها بصورة بسيطة. ويمكننا حاليا تحديد الخصائص المتوقعة لجزيء جديد قبل إنشائه في الواقع، ثم نتحقق فقط من هذه الخصائص تجريبيا بعد ذلك. وإذا كانت الكيمياء قد حققت بهذا انتعاشا ونجاحا سريعا دون أن تفقد خاصيتها الأصلية أو الأساليب الفنية الخاصة بها، فإن الحقيقة تقضي أيضا بأن أسسها لا يمكن تمييزها الآن عن أسس الفيزياء.

أما بالنسبة إلى فيزياء المواد العادية، وخاصة فيزياء الحالة الجامدة، فإنها قد شهدت هي الأخرى تحولا عميقا جدا. ذلك أن ميكانيكا الكوانتم وفرت في نهاية الأمر تفسيرا يوضح الفرق بين الموصلات والعوازل. وينطبق الحال نفسه على الخصائص المتعلقة بالحرارة (السعة الحرارية، التحولات الطَّوْرية، الموصلية الحرارية). والخصائص المتعلقة بالضوء والبصريات (الشفافية، اللون، معامل الانكسار)، والخصائص المغناطيسية (مثل خصائص الحديد الموجود في مجال مغناطيس كهربي)، والخصائص الميكانيكية (الصلادة، اللدونة). وبالنسبة إلى ظواهر الموصلية الفائقة superconductivity فإن ما وصلت إليه من تفسير في العام ١٩٥٨ يضع نهاية مميزة لفترة بطولية، وإن كان هذا لا يعني نهاية الحصاد. ولا يمر عام دون أن نشهد تطورات مهمة، لكنها تتجه غالبا نحو تنقيح النتائج المعروفة وتطبيقها بصورة نظامية، بحيث تضاف إليها دراسة الظواهر الأكثر تعقيدا (بلورات سائلة، ظواهر السطوح). ومن بين أهم الإنجازات العملية المتميزة نجد اختراع الترانزستور الذي أدى إلى ازدهار تقنية الحاسوب، والاكتشاف الحديث لموصلات فائقة عند درجات حرارة عالية نسبيا.

وقد استفاد علم البصريات كثيرا من اختراع الليزر الذي أسس على ظاهرة كوانتية خالصة: واقعة مفادها أن وجود فوتونات على مقربة من ذرة ما يمكن أن يحفز انبعاث فوتونات جديدة من الذرة. ومن وجهة نظر أساسية



أكثر، نجح علم البصريات مبكرا في التوفيق بين الخاصية التموجية للضوء ووجود فوتونات، حتى وإن كانت تلك النتائج، مرة ثانية، عصية على التعبير عنها لغويا.

الغيث المنهمر من ميكانيكا الكوانتم سيصيب أيضا فرعين جديدين تماما من الفيزياء يدرسان، على الترتيب، الأنوية الذرية (الفيزياء النووية) والجسيمات الأولية. فقد شهد كل منهما تطورا مذهلا، بدءا من ثلاثينيات القرن العشرين بالنسبة إلى الحالة الأولى، ومن الخمسينيات فصاعدا بالنسبة إلى الحالة الثانية. لكننا لن نستطرد أكثر من هذا لأن هدفنا ليس إعطاء تقرير كامل. دعنا فقط نُضِف أن ميكانيكا الكوانتم، على الرغم من محاولات التشكيك فيها، تتربع دائما على القمة، وأنه يمكن اعتبارها الآن بمنزلة نظرية صحيحة تماما، حتى عندما تتضمن التجارب التعامل مع مسافات جسيمات في حدود جزء من بليون جزء من الأنغستروم، أو مع طاقات أعلى آلاف المرات من طاقة كتلة البروتون. وقد بلغ اتفاق النظرية مع التجربة في حالات معينة ما يزيد على عشرة أرقام معنوية، وهي دقة منقطعة النظير في أي مجال علمي آخر.

في حقيقة الأمر، كل هذه النتائج التي سبق ذكرها لا تعطي سوى فكرة متواضعة عن وفرة الإسهامات التي قدمتها هذه النظرية المدهشة. إن الفيزياء والكيمياء تعتمدان عليها بصورة مباشرة، وكنتيجة لهذا تعتمد الطبيعة عليها في كل ما تقدمه. إنها بحق كنز علاءالدين، وسوف نرى بعد ذلك أي نوع من العفاريت يمكنه استحضاره بمصباحه الزيتي، لكن الشيء الوحيد المؤكد هو أن اللغة التي يتكلم بها لغة صورية، وأنها ليست لغتنا.





8

إبستمولوجيا الفيزياء

مثلما فعلنا بالنسبة إلى الرياضيات، يجب علينا أن نفحص حالة فلسفة الفيزياء بعد أن أصبح هذا العلم صوريا. ومادام الفيلسوف باستطاعته أن يتغلب على الصعوبات الفنية لنظرية النسبية، فإن العوائق التي تعرضها فيزياء الكوانتم جديرة بالاعتبار، وقد يفسر هذا تقاربا معينا بين آراء الفيزيائيين والفلاسفة بشأن إبستمولوجيا هذا العلم. في ثلاثينيات القرن العشرين شارك في السجال أعظم الأسماء في الفيزياء، وحتى عهد قريب كان الفيلسوف يُحال إلى مناقشة آراء بور وآينشتين وشرودنغر وهيزنبرغ وباولي ودي بروي، وثلة آخرين.

«الفيزياء تقف على ساقين: النظرية والتجريب. أما النظرية فهي تتطلب احتمالية خالصة، وأما التجارب فلن يكون لها معنى إلا إذا كان هناك شيء ما أساسي في عملها له صبغة حتمية»

المؤلف

لم أحاول أن أطرح تغطية شاملة للمجال ككل، ولكني سأركز على أهم أمثلته البارزة. لذلك سنظل بمنأى عن كل شيء يتعلق بالمكان والزمان، وبالفعل يكرس مؤلفون كُثر الجزء الأكبر من مؤلفاتهم لمناقشة آراء آينشتين في هذا الموضوع.



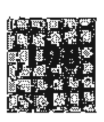
وإنصافا للحقيقة، توجد بعض الأعمال التي ظهرت مؤخرا تتعامل مع أحدث النتائج وتعلن عن أنباء ممتازة لولا أن المؤلفين غالبا ما يلجأون إلى تأملات مفرطة وغير مألوفة. وهذا توجه محفوف بالمخاطر بالنسبة إلى العامة وبالمثل بالنسبة إلى الفلاسفة الذين قد يجدون صعوبة في بلوغ مرادهم خاصة أن ثمة فيزيائيين مرموقين من بين الكُتاب. يستحقون الثناء على ما يسجلونه من سبل البحث المعاصرة، بيد أنهم يضللون القارئ بألا يحذروه بشكل كاف من أن هذه السبل يمكن ألا تؤدي بسهولة إلى أي شيء. فمن السهل أن يحلم المرء مستعينا بقليل من الرياضيات في عالم النسبية العامة المثير لكل ما هو مدهش وغريب.

لكل هذا سوف أقتصر على فيزياء الكوانتم ومن دون إطناب، لأننا سوف نرى في الجزء الثالث كيف أن ما شهدته النظرية حديثا من تقدم إنما يطرح توضيحات جديدة لنتائجها الإبستمولوجية. وسوف نلزم أنفسنا الآن بما هو معروف ومسلم به عموما، حيث نلقي الضوء على السمات البارزة لنظرية نيلز بور التي تدل على براعته. وأود أن أوضح أن نيلز بور لم يكن لديه أي خيار، اللهم إلا أن يؤسس ذلك الإطار في بداية النظرية، وأنه كان مضطرا لفرض قواعد للتفكير حصرية وصارمة جدا. وكانت المحظورات المريعة التي أعلنها مفيدة للفيزيائيين بأن منعتهم من إثارة أسئلة يمكن أن تربكهم وتحيرهم (القواعد الصارمة تجعل العمل أكثر سهولة ويسرا، كما يقول مؤلفو السونتات). ولسوء الحظ، تؤدي مثل هذه القواعد أيضا إلى بلبلة فلسفية هائلة.

نحن الآن في وضع أفضل لكي نقرر ماذا نستبقي وماذا نرفض من رائعة بور. وليس هناك سوى القليل الذي يمكن تغييره من وجهة نظر الفيزيائي المنغمس في العمل، بينما تتطلب وجهة نظر الفيلسوف إجراء تعديلات مهمة على النظرية. مع ذلك فإن عمل بور يبقى مرجعا مألوفا جدا، لا ينبغي أن يحظى بأقل من فصل كامل لشرح السبب في إنشائه بالأسلوب الذي تم به.

لماذا نحتاج إلى تأويل؟

دعنا نلق نظرة على شيء ما، أي شيء، ولتكن كرة البلياردو المألوفة جدا، على سبيل المثال، ثم نقارن طريقة وصفنا إياها بطريقة الفيزيائي المعاصر عندما يصفها. وليس هناك ما هو أكثر بساطة بالنسبة إلينا، فكل إنسان قد رأى مثل هذا



الشيء، وبمجرد قراءتك الجملة الأولى في هذه الفقرة، فإن صورة الكرة تتكون في مخيلتك. أما الفيزيائي، منذ حوالي قرن من الزمان، لم يكن لديه غير التفكير بهذا الأسلوب، في ما عدا بعض الدقة الإضافية، كأن يرفق أرقاما مع إحداثيات مركز الكرة. وبالنسبة إلى عالم الذرة، تكون الكرة عبارة عن عبوة مكثفة من الذرات المتماثلة التي يمكن تخيلها في صورة نوع من الكرات الصغيرة جدا.

ليس هناك ما يماثل هذا على الإطلاق في فيزياء الكوانتم. ذلك أن الفيزيائي يبدأ من فكرة الكرة بوصفها حشدا هائلا من الذرات، لكن هذه الفكرة ما تلبث أن تُستبدل بها على الفور دالة موجية تعتمد على متغيرات عديدة، بقدر ما يوجد في الكرة من إلكترونات وأنوية ذرية. مفهوم هذا الفيزيائي وتصوره لمركز موضع الكرة لا يختلف كثيرا عن تصور الفيزياء الكلاسيكية. أما عند الحديث عن السرعة velocityفإن الفيزيائي يحتاج أولا إلى أن يجري عملية تفاضل للدالة الموجية بالنسبة إلى متغيرات معينة، ثم يقسمها على العدد المركب i (الجذر التربيعي للعدد - ١)، ثم يجري عدة حسابات أخرى معقدة قبل أن يعلن في النهاية: «أنا لا أستطيع أن أحدد سرعة الكرة بالضبط (ليس أكثر من الموضع الدقيق لمركزها)، لكن التوزيع الاحتمالي للسرعة هنا تكون له قيم كذا وكذا». إن الفيزيائي المعاصر ليس لديه أي تصور دقيق لتلك الكرة، اللهم إلا - في أحسن الأحوال - صورة ذهنية غير واضحة المعالم عن سحابة من الاحتمالات.

ومع ذلك تبدو الكرة هنالك؛ إنها تتدحرج. كل شيء يبدو غير قابل للجدل: الطبيعة الذرية للمادة وفيزياء الكوانتم التي تحكم الجسيمات، وقد أمكن إثباتها بالتجربة؛ واستحالة الوصول إلى أي شيء أو الاقتناع به بواسطة الاحتمالات وليس عن طريق النظرية. لكن هناك حقيقة أخرى لا جدال فيها أيضا وهي أن الكرة موجودة هناك. وإذا كانت الكرة قادرة على الضحك، فإنها بكل تأكيد ستهزأ بنا بضحكة ساخرة. نحن لا نفهم، لم نعد نفهم، والمبتدأ بالواقعة يبدو مناقضا للخاتمة بالنظرية.

إن الهدف من التأويل • interpretation هو التوفيق بين هذه المتقابلات؛ وتوضيح أنها متساوقة coherent إن أمكن هذا، وتأسيس أنماط من التفكير قادرة على الجمع بينها دون تشويه لها. ويصعب تخيل عمل ذي طبيعة فلسفية أكثر من ذلك، لأنه يتمخض في النهاية عن معرفة طريقة التفكير بشأن العالم.



وثمة طريقتان على الأقل لتصور التأويل، إحداهما مبنية على الخبرة الإنسانية المشتركة وتمثلها لعالم مليء بالوقائع، وحسها المشترك المستمد من الأسلاف. هذه المقاربة تنفي تلك الأشياء المتوافقة مع اكتشافات الفيزياء، وتنفي المفاهيم، وتحدد مداها، ثم تتحدث أخيرا عن العالم بمنتهى الحرص والتبصر. هذا هو المسار الذي سلكه بور. أما التصور الآخر فيرى التأويل فرعا معينا من فروع الفيزياء النظرية. وانطلاقا من مبادئ معينة معلومة (وجود جسيم، دالة موجية، إلخ) يستطيع المرء من خلال براهين رياضية أن يستنتج خصائص تمثيل الحس المشترك الكلاسيكي للأجسام الكبيرة نسبيا التي نتصورها على مستوانا الإنساني. هذه هي أحدث مقاربة وسوف نعرض لمناقشتها بإيجاز.

من الواضح أن الخطأ (إذا جاز لنا أن نسميه كذلك) الذي ينشد التأويل تصويبه إنما ينشأ عن الطبيعة الصورية للعلم، أي عن واقعة مفادها أن مفاهيم العلم الابتدائية عصيَّة على التخيل. فإذا علمنا أن علم الفيزياء كله تقريبا علم صوري، بما في ذلك الفيزياء الكلاسيكية، فإن الحاجة إلى التأويل تكون ماسة دائما. وهذا يمكن ملاحظته بصعوبة في فيزياء نيوتن، أما في ما يتعلق بكهروديناميكا ماكسويل فإنه أصبح بالفعل يشكل عقبة يسيرة بالنسبة إلى البعض (ثاقبي الفكر)، ويظهر جليا في نظرية النسبية. إلا أنه يوجد في هذا المجال الأخير [النسبية] منهاج بسيط للحصول على تأويل: أن نتخيل، حيثما يكون ضروريا، وجود مراقبين في حالة حركة. هذه النبيطة device (*) مناسبة جدا لدرجة يتعذر معها على كثيرين أن يتحققوا من أن هدف هؤلاء المراقبين الخياليين هو الحصول على تأويل.

إن التأويل أساس في ميكانيكا الكوانتم لثلاثة أسباب على الأقل: أولا وقبل كل شيء لأن صورية النظرية بلغت الذروة في الغموض والإبهام؛ وثانيا لأن صميم تصور المراقب لم يعد واضحا بالمرة، وأولئك الذين استخدموه انتهوا إلى تضمين وعي المراقب، وهو ما يناقض الطبيعة الموضوعية للعلم (**). وأخيرا لأن الجوانب الاحتمالية للنظرية يجب أن تتوافق في النهاية مع الوجود اليقيني للوقائع والحقائق. وبهذا يتوقف التأويل عن أن يكون محض ترجمة ويصبح نظرية بحكم طبيعته الخاصة.

(*) اعتمدنا «نبيطة» ترجمة لكلمة device التي تترجم إلى أداة أو جهاز أو وسيلة أو حيلة، وهي ليست أيا من هؤلاء، بل كلها معا [المترجمان].

(**) العلم الموضوعي، تبعا لكانط، يشير فقط إلى أشياء مستقلة عن العقل [المؤلف].



اللايقينيات

تعتبر خاصية الاحتمالية أو الرجحانية (*) من أكثر سمات ميكانيكا الكوانتم إثارة. ذلك أن كل شيء في عالم الكوانتم يحدث بصورة عشوائية ولا يوجد سبب مباشر للأحداث الكوانتية. وزيادة على ذلك، تختلف احتمالات مثل هذه الحادثات اختلافا كبيرا عن الاحتمالات المستخدمة في الفيزياء الكلاسيكية منذ أيام لابلاس. ويمكن توضيح ذلك بصورة تقريبية على النحو التالي: كل شيء يخضع لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، وكل حادثة لها سبب، وتوجد آلية ما تعمل في مكان ما. تسقط التفاحة من الشجرة بسبب ضعف ساقها، أو بسبب هبوب الرياح، أو لأن طائرا يرتطم بها. لا نستطيع أن نعرف على وجه الدقة متى سيحدث سقوط التفاحة، ولكن ثمة سببا ما ميكانيكيا مباشرا يجري حدوثه. فإذا علمنا حالة الألياف في الساق وعرفنا بالضبط تطورها بمرور الزمن فإنه يمكننا تحديد الوقت الذي ستسقط فيه التفاحة والسبب الذي أدى إلى ذلك. لكننا لا نعرف، أو لا نهتم بأن نعرف، وهذا هو سبب لجوئنا إلى الاحتمالات التي تعبر عن توقع معقول على الرغم من جهلنا بالتفاصيل الخفية. بكلمات قليلة: كل شيء في الفيزياء الكلاسيكية محدد، واستخدام الاحتمالات مجرد بديل عن المعرفة الدقيقة بالأسباب الفاعلة.

الأشياء في ميكانيكا الكوانتم مختلفة تماما لأن الحادثات فيها تحدث بصورة عشوائية. لا يوجد سبب يجعل الذرة المثارة تتحلل بصورة في لحظة معينة. هناك بالطبع قوانين تحكم العملية برمتها، ولكنها تعبر فقط عن احتمال حدوث الحادثة في زمن بعينه وليس في زمن آخر. إن احتماليات الكوانتم ليست بديلا عن معرفة دقيقة بتفاصيل خفية ذات صلة، فليس ثمة أي تفاصيل ذات صلة، وإنما مجرد مصادفة خالصة (**).

(*) الاحتمالية أو الرجحانية منطقيا وفلسفيا: نظرية تقول باستحالة بلوغ اليقين المطلق، وكل ما يمكن الوصول إليه هو ترجيح رأي على آخر. وهي نظرية وسط بين الشك واليقين القاطع. أشهر من قال بها الأكاديمية الجديدة قديما وأوغست كورنو حديثا. وواضح أنها أساس الفيزياء المعاصرة [المترجمان].

(**) يمكن التعبير عما يريد المؤلف أن يقوله بعبارة أخرى أوضح وأبسط، وهي أن الاحتمال في الفيزياء الكلاسيكية كان «احتمالا ذاتيا» أي ينطبق على الذات العارفة وطبيعة معرفتها، أما في فيزياء الكوانتم فإنه «الاحتمال الموضوعي» اي ينطبق على موضوع المعرفة وطبيعته. في تفصيل هذا: فلسفة العلم من الحتمية إلى اللاحتمية، دار قباء، القاهرة، ٢٠٠٠ . ص ٧٦ – ٨٢، وقارن ص ٤٢٨ – ٤٣١ . وواضح أن موضوع هذا الكتاب هو قضية الحتمية التي سوف يعرج عليها المؤلف فورا [المترجمان].



قدم ماكس بورن هذه الفكرة، وتم إثباتها تماما بعدد كبير من التجارب (خاصة الحديثة منها، حيث تم اقتناص ذرة منفردة في مصيدة وتعريضها لشعاع ليزر، ولوحظ أنها تسبب إشعاعا فلوريًا باستمرار، اللهم إلا عندما تحدث «قفزات كوانتية» واضحة لا تخطئها الفراسة). وضع بورن قواعد صريحة لحساب الاحتمالات الكوانتية بدلالة الدالة الموجية، وقد أظهرت هذه القواعد دائما اتفاقا رائعا مع النتائج التجريبية. لكن هذه الصورة الذهنية كانت مفزعة بالنسبة إلى آينشتين الذي قال «إن الإله لا يلعب النرد».

ظهر حينئذ أن هناك هوة تصورية تفصل بين الفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكوانتم، وبين الحتمية والاحتمالية الخالصة. وأكثر سمات هذا التناقض الظاهري المستعصي مدعاة للدهشة هو أن كلا من المتناقضَيْن ضروري للفيزياء. الاحتمالية سمة أساسية لفيزياء الكوانتم وتؤيدها التجارب تماما، بيد أن السؤال هو: كيف نُجري هذه التجارب؟ إنها تشمل بعض الأجهزة المعملية، وأدوات القياس، وهلم جرا. أما في ما يتعلق بأي من هذه الأجهزة، فإننا نتساءل: لماذا نثق بها، ولماذا تُعتمد كأداة معملية؟ الجواب هو: لأنها تعمل وفق ما هو متوقع وطبقا لما أُنبئ عنه، بشرط أن يتم الضغط على الزر الصحيح، باختصار لأنها حتمية.

يمكن أن يمضي المرء إلى أبعد من ذلك للتعرف على الحتمية باعتبارها شرطا ضروريا لأي تحقق تجريبي من صحة الاحتمالية الكوانتية. وكحقيقة واقعة، يتم التأكد عمليا من الاحتمالات المتوقعة عن طريق ميكانيكا الكوانتم بمقارنتها بالترددات النسبية في مجموعة كبيرة من البيانات [المعطيات]. ولا يمكن إجراء هذه المقارنة إلا بتجميع بيانات كافية، لهذا يجب أن نعول على سجلات كل البيانات الموجودة في حافظة ما، الدفتر بالأمس أو ذاكرة الحاسوب في يومنا هذا. وينبغي أن يكون واضحا أن هذه السجلات بمثابة شهادات موثوق بها عن وقائع ماضية حدثت عند تسجيل كل معلومة مستقلة. لكن إذا كانت هذه السجلات جديرة حقا بالثقة والاعتماد فهذا لأن كل تدوين حدث في هذا الوقت يحدد حالة السجل الحالي تماما.

إن الفيزياء تقف على ساقين: النظرية والتجريب. أما النظرية فهي تتطلب احتمالية خالصة، وأما التجارب فلن يكون لها معنى إلا إذا كان هناك شيء ما أساسي في عملها له صبغة الحتمية. وعدم ربط هذه المطالب التي تبدو متناقضة يُعتبر من الإنجازات العظمى للنظريات الحديثة، وسوف نناقش هذا في فصل تال.



ولا تزال ثمة نتيجة أخرى للاحتمالية أو الرجحانية probabilism، تؤكد بعض الجوانب الأكثر صورية لنظرية الكوانتم علاقات اللايقين الشهيرة لهيزنبرغ (*) عند تطبيق هذه العلاقات على جسيم ما فإنها تقول بصورة استقرابية إن الثمن المدفوع لمزيد من الدقة في تحديد موضع الجسيم هو الدقة الأقل في تحديد كمية تحركه، والعكس بالعكس. إنها نتيجة المبادئ الأساسية للنظرية، وهي نتيجة مباشرة لا جدال فيها.

إن أي فيلسوف إغريقي، أو جزء من عقلنا فيه بقية من الفكر الإغريقي، سوف يرفض مثل هذه المقولة. لماذا؟ لأن كمية التحرك تتناسب مع السرعة. افترض أنني أحاول أن «أرى» جسيما في ذهني، له موضع يتحرك بسرعة ما على طول مسار معين. إذا كان الموضع الواضح يجعل السرعة غير واضحة، فإنه لن يكون هناك مسار ولن أستطيع الرؤية. وإذا كان أرسطو على صواب في قوله إن فهم شيء ما يبدأ بأن تكون له صورة واضحة في الذهن، فإن المرء ربما يتعجب مما يجري. ويمكن التعبير عن اللاعقلانية المتبدية في عالم الذرات ببيت شعر نثري ركيك من قبيل: إن العلوم الصورية تعمي البصر والبصيرة ... وتبدو غير حقيقية أمام العقول الحمقاء (**).

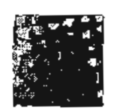
مبدأ التتام

إن مبادئ النظرية تربط ذهنيا بين مقادير فيزيائية وكيانات رياضية معينة تسمى عوامل • operator (***). ومن خصائصها الرئيسة عدم تبادل أحدها مع آخر. ودون دخول في التفاصيل دعنا نقل إن هذه الحقيقة هي الأصل الصوري لعلاقات اللايقين لهيزنبرغ. وهي تمنعنا من أن تحدث عن

(*) نلاحظ هنا دهاء المؤلف وإصراره على تحقيق الهدف من كتابه العويص هذا. ذلك أن مبدأ هيزنبرغ المذكور قد يسمى مبدأ اللايقين uncertainty principle وقد يسمى مبدأ اللاتعين indeterminacy principle. وعلى الرغم من أن التسمية الثانية هي الأكثر شيوعا الآن، فإن المؤلف يستعمل دائما التسمية الأولى. ذلك أن الأولى تحمل مغزى إبستمولوجي يجعل المسألة متعلقة بوضع المعرفة، وهذا ما يريده المؤلف كي يعود إلى الواقع الأنطولوجي ويجعله ملائما لمنطق الحس المشترك. التسمية الثانية تحمل دلالة أنطولوجية، تجعل المسألة منصبة على طبيعة الوجود الذي تنظّر له الكوانتم، وبالتالي لا تسهل المهمة التي يضطلع بها المؤلف، وهي نزع الصورنة عن العلم وخصوصا عن نظرية الكوانتم. (قارن: فلسفة العلم من الحتمية إلى اللاحتمية، ص ٣٩١ وما بعدها) [المترجمان].

(**) formal sciences make blind, unreal with a fools mind.

(***) العامل operator رمز يمثل إجراء عملية رياضية معينة مثل عامل التفاضل d/dx. وفي المنطق الرمزي يسمى عامل أو علامة الإجراء، مثل علامات النفي والضرب والجمع وغيرها [المترجمان].



موضع جسيم وسرعته في آن واحد بتحديد بالغ الدقة. وعلى المنوال نفسه، لا يمكننا وصف الضوء بأنه موجة كهرومغناطيسية ويتألف من فوتونات في الوقت نفسه.

يبدأ الإسهام الرئيس الأول لبور في التأويل، وينشأ في المستحيلات المذكورة أعلاه. وبشكل أساسي يقول بور إنه يستطيع الحديث عن موضع ذرة وسرعتها في لحظة معينة، لكن عليه أن يختار. هذه الأساليب في الكلام، وهذه الأوصاف تكون متتامّة complementary. وأقصد بهذا أن كلا منها صحيح في حد ذاته دون أي تناقضات داخلية، ولكن يستحيل ربطهما والجمع بينهما. وهذا، من منظور الحس المشترك، غريب جدا بكل تأكيد، مثلما يمكن أن يقال عن شخص ما نسميه «هو»: عندما أتحدث إليه «هو» بالهاتف، فإنه يتحدث كإنسان، ولكن عندما أراه «هو» فإنه لا يتكلم البتة ويبدو كأنه «قطة». «هو» أو «هي» يمكن أن يكون إلكترونا، أو ذرة، أو الضوء ذاته. فالجسيمات أو الموجات، فضلا عن سماعها أو رؤيتها،يمكن الكشف عنها (من خلال ظاهرات التداخل). هل «هو» جسيم أم موجة؟ كيف يمكن أن يوجد في كل من هاتين الصورتين، وفي الوقت نفسه لا يكون أبدا في كلتيهما؟ إن استحالة اتحاد هاتين الصفتين اللتين تقتصر كل منهما على نوع خاص قد تم تقديمها باعتبارها المبدأ الأول في التأويل، مبدأ التتام • principle of complementarity (*). كان بور مقتنعا بأهمية هذا المبدأ ومغزاه حتى أنه بحث بعد ذلك عن أمثلة أخرى له في الفلسفة، كما في البيولوجيا وعلم النفس. ومن المدهش أنه يبدو كأنه لم يكن على دراية بمفهوم عالم المقال الذي برهن عليه المنطق قبل ذلك بكثير.

يحمل مبدأ التتام معه مخاطرتين مباشرتين، الأولى تهدد بالقياس الفاسد: كيف يمكن لجسم أن يظل منطقيا ومتماسكا، عندما يُنظر إليه في الوقت نفسه بطريقتين مختلفتين، أو حتى بمائة طريقة

(*) مبدأ التتام principle of complementarity قاعدة تربط بين صيغتين، بحيث يمكن أن توصف ظاهرة فيزيائية بدلالة إحداهما أو بالأخرى، ومنها انتقال الطاقة التي يمكن أن توصف بدلالة حركة جسيمية تتميز بكمية تحرك أ وطاقة E، أو بدلالة حركة موجية تتميز بطول موجي l وتردد v ويربط مبدأ التتام بين هاتين الصيغتين بالمعادلتين:
$E = hv$ ،أ = h/ λ حيث h ثابت بلانك [المترجمان].



مختلفة؟ الخطر الثاني يكمن في عشوائية الاختيار، أي المعايير هي التي يمكن أن أفضل طبقا لها وصفا على الآخر، إن لم يكن ذلك بإرادتي الحرة، إرادتي أنا الذي أفكر وأتكلم، وبهذا نغدر بالموضوعية؟ إجابة بور مريبة وغير حاسمة، فهو يقول إننا لا ينبغي حتى أن نذكر أجساما ذرية وعلينا أن نستخدم الصورية فقط بما تقدمه لنا الأعداد والاحتمالات. دعنا لا نتحدث عن تلك الأجسام الذرية، ولنعط هذا المنع منزلة القاعدة الملزمة.

ولنعتبر للحظة هذه الوصية، أو هذا الأمر: «لن نتحدث عن العالم الذري في حد ذاته». هناك عوالم أخرى، لكن هذا العالم نموذجي من ناحية التأويل الذي اتخذه بور. ولا يزال بإمكاننا أن نحافظ على التمثيل العادي للعالم، إلا أن مداه يجب أن يكون مقيدا إلى حد بعيد (*). توجد أشياء محظورة، ولا يمكننا إغفال تفكير كانط، والقدر المحتوم على العقل، إذ يعاني دائما من أسئلة لا يمكن تجاهلها، لأنها أسئلة تنبع من صميم العقل، ولا يمكن الإجابة عنها، لأنها تتجاوز قدرات العقل. لقد أبدى بور، مثل هيوم من قبله، ولأسباب غير منفصلة، رأيا بمنع افتراض وجود ما لا يمكن الوصول إليه وما لا مجال للتفكير فيه. ومن ثم يمكن أن نأخذ هيوم، الذي أنكر معرفة أصل نظام العالم، وكانط ونقائضه العصية على الحل، وأخيرا بور، باعتبارهم كبار أمراء الحظر والتحريم.

ما هو المسموح لنا إذن أن نفكر فيه، تفكيرا إيجابيا (**)، طبقا لآراء بور؟ إنه يعلم بوضوح: لن نتحدث إلا عن الأشياء التي نستطيع أن نراها ونلمسها، أي في الظروف المحيطة بنا والأدوات التي نستخدمها في الفيزياء. سوف نتغاضى عن الطبيعة الذرية للمادة التي تتكون منها تلك الأدوات، علاوة على قوانين الكوانتم المناظرة. وسوف لا نأخذ في الاعتبار

(*) هذه هي بالضبط المقاربة التي اتبعها بور عندما صاغ نموذجه الشهير العام ١٩١٣ [المؤلف].

(**) إيجابيا أي positively وهذه الكلمة تعني أيضا: وضعيا، والواقع أن اتجاه التفكير الذي يتحدث عنه المؤلف هو المعروف باسم الاتجاه الوضعي أو الوضعية positivism أي الفلسفة التي تقصر إمكانية المعرفة على ما هو موضوع في هذا العالم، ما هو خاضع لخبرة الحواس المستعينة بالأجهزة المعملية، وبالتالي تشن الوضعية حربها الضروس على الميتافيزيقا وعلى كل تفكير يتجاوز العالم المحسوس. وارتبط هذا التيار في أصوله وفروعه ارتباطا وثيقا بنشأة ونمو العلم الحديث وعد الوضعيون أنفسهم المتحدثين الرسميين باسم العلم التجريبي. وبالطبع نهض في وجههم آخرون كثر من فلاسفة العلم ومن فلاسفة الميتافيزيقا، على السواء، وربما كان في الطليعة منهم جميعا كارل بوبر [المترجمان].



غير الوقائع بدون أي تحفظات عقلية. أجل، الأشياء التي أراها تكون مثلما أراها. إنها الأصل وهي قياسية، وأنا أحظر التفكير فيها بأي طريقة أخرى. أما أولئك الذين يجرؤون على تحدي هذا التحريم والحظر فينبغي تحذيرهم، إنهم يعرضون أنفسهم لأسوأ إحباطات خيبة الأمل، ولاضمحلال الفكر.

وأيضا يشرح بور الأسباب التي قادته إلى تبني هذا الوضع. فهو عندما يتحدث عن الفيزياء الكلاسيكية لا يعني في واقع الأمر ميكانيكا نيوتن أو أي إنتاج فكري آخر منسوب لعالم ما أو ألمعي فذ. وإنما تمتد جذور حديثه إلى أعماق ما يمكن تمثله تماما بوضوح وجلاء، إلى الأساس الوحيد الذي يعتقد أنه ممكن لتقرير الصدق، إلى تذكر الماضي وتسجيل وقائعه، إلى التعليل والتفكير بكل يقين. تنتمي أسبابه إلى مجال المنطق الكلاسيكي، وهو أكثر المجالات موثوقية بالنسبة إلى معايير البشر. وقد تم اختيار المسار الكلاسيكي لأنه الوحيد، أو هكذا يبدو، الذي يسمح بتصور منطقي للعالم.

كمردود مباشر، يستطيع بور بسهولة أن يزيل المركبة component الاختيارية التحكمية في مبدأ التتام: سوف نتحدث فقط عن الكميات الذرية التي نكتشفها مباشرة بواسطة وسيلة قياس مناسبة. كيف أمضي في الحديث عن الإشعاع الكهرومغناطيسي الضعيف، مثلا؟ لن أفعل ذلك ببساطة، ما لم يكن قد تم اكتشافه وتعيينه، وتذكر الحظر القائم على الحديث عن عالم الكوانتم في حد ذاته. فإذا حدث أن تم اكتشاف الإشعاع بواسطة هوائي antenna، فلن تكون هناك مشكلة، ويمكننا عندئذ أن نتحدث عن موجة، أو عن مجال كهربي، إن كان هذا مطلوبا، لأن هذا هو ما يقيسه الهوائي. وإذا اكتشفت الإشعاع بواسطة مضاعف ضوئي photomultiplier، وهو عداد للفوتونات، فإنه يمكن الحديث عندئذ عن فوتونات. الحل الذي قدمه بور جدير بأن يكون ضروريا، لأنه أتاح للفيزياء مواصلة مسارها نحو اكتشافات جديدة. لكنه من ناحية أخرى، سبب صعوبة هائلة، لأن الفيزياء الآن تبدو مشطورة بين منظومتين متقابلتين من القوانين: قوانين الفيزياء الكلاسيكية، وهي حتمية وملاذ لليقين، ومنظومة قوانين الكوانتم الاحتمالية الخالصة، مع



إمكانياتها المتممة، وهي تحت رحمة المصادفة واللايقين. كيف يتسنى لامرئ أن يخدم ربين، بمعنى أن يكون موزع الولاء بين مبدأين متناقضين، فيكون العلم هو نفسه تماما في كلتا الحالتين وخاضعا لمجموعتين مختلفتين من القوانين؟ إن بور بتشبثه بالوقائع وإظهارها على أنها الصدق الوحيد، قد أحدث صدعا منطقيا خطيرا، لأنه هدد تساوق العلم ووحدته في الصميم.

رفض كثيرون أن يقتربوا من الطبيعة الكوانتية للمادة بصورة جوهرية، إبقاء على مظهرها الكلاسيكي فقط. وتعتبر قطة شرودنغر التي سوف نتحدث عنها في ما بعد مثالا توضيحيا لمثل هذا الموقف، ومحاولات فون نيومان لوضع نظرية كوانتية لأدوات ووسائل القياس أطلقت تحذيرا للفيزيائيين، تماما مثلما نبهت القطة الشهيرة غير الاختصاصيين. لم يستطع آينشتين أبدا أن يحمل نفسه على اتباع بور، بل إن عدم ثقته أدت به إلى أن يرتاب في الخاصية العشوائية الكامنة في صلب الظواهر الكوانتية. أما دي بروي وبوم فقد حاولا مقاربة نظرية أخرى لتعديل ميكانيكا الكوانتم أو تكملتها. إن آينشتين وبودولسكي وروزن وبوم مرة أخرى، وفي ما بعد بيل، فكروا جميعا بطرق مختلفة لوضع مبدأ التتام على وجه الخصوص موضع الاختبار في مواقف دقيقة. وظل بور هادئا حتى آخر لحظة لا يأبه بكل تلك المحاولات.

رد الدالة الموجية

ورب متسائل عما إذا كان لا يزال ثمة حاجة لدوال موجية، علما بأننا لا نستطيع الإشارة إليها عندما نتحدث عن تجارب عملية. لا شك في أن بور لم ينكر الصورية الكوانتية، ولكنه قصرها على دورها كأداة حاسبة، أي دورها في الإخبار عن الاحتمالات المتوقعة مسبقا. وذلك هو السبب في أن الدالة الموجية بمثابة وقود الآلة التي تصنع الاحتمالات. نظرية الكوانتم صادقة، ليس باعتبارها حقيقة، ولكن من حيث هي مجموعة قواعد تربط الوقائع بعضها ببعض، أي قواعد تؤيدها الخبرة بدلالة الترددات النسبية للكميات التي تم قياسها. إن مفهوم التردد النسبي في نظرية الاحتمالات العادية، على سبيل المثال، هو نسبة تكرار حدوث



العدد ١٢ في عدد كبير من لفات مغزل. نستبدل الذرة بالمغزل؛ فيكون لدينا حسابات أخرى تشمل الدالة الموجية، غير ذلك النوع من الحسابات التوفيقية التي اعتاد بسكال أن يجريها.

حسنا، لكن ألا توجد هنا عقبة خفية؟ كيف يمكننا معرفة الدالة الموجية لذرة ما في حين أنه ليس من المفترض أن نتحدث عن عالم الكوانتم في حد ذاته بينما ندعي معرفة البيانات والمعطيات الكلاسيكية فقط؟

يزيح بور هذه العقبة بإدخال قاعدة جديدة. حيث يقول إنه يجب علينا ألا نأخذ في اعتبارنا أداة القياس فقط، بل أيضا نبيطة التوليد بأسرها، أي معجل الجسيمات بالإضافة إلى عداد الجسيمات. وغالبا ما يصعب من الناحية العملية تمييز آلية التوليد عن أداة القياس، وهذه هي الحال التي تهم بور بالدرجة الأولى إلى حد أنه يجعلها القاعدة العامة. فهو يعطي أهمية خاصة للحالة التي توجد فيها نبيطتان للقياس مترابطتان على التعاقب. فإذا عرفنا الدالة الموجية للذرة من أداة القياس الأولى، نستطيع التنبؤ باحتمالات النتائج الممكنة من أداة القياس الثانية، وبهذا يتاح التحقق التجريبي من صحة النظرية.

يعرّف بور هذه الدالة الموجية بواسطة قاعدة خاصة هي «رد» أو «اختزال» reduction الدالة الموجية. وهي قاعدة فنية لن نعينها، ولكنها تختصر بصورة تقريبية إلى الآتي: أخبرني بنتيجة القياس الأول وسوف أعطيك الدالة الموجية التي تحسب بها احتمالات نتاجات القياس الثاني.

وهذا يثير مشكلة سيمانطيقية semantics [متعلقة بدلالة الألفاظ وتطورها]، فما معنى ذلك؟ قد يكون مجرد نوع من الحساب التقريبي أو الإمبيريقي الذي يعطي ما يسمى بالاحتمالات الشرطية، أي احتمالات النتائج المختلفة من القياس الثاني بفرض نتاجات معلومة من القياس الأول. عندئذ يمكن عرض هذه المعلومات على هيئة جدول تدوين مزدوج، أو مصفوفة صفوفها بعدد نتائج القياس الأول وأعمدتها بعدد النتائج الممكنة من القياس الثاني. عندئذ سيوضح كل تدوين أو مدخلة التردد النسبي لحدوث النتيجتين على التتابع، وسوف تقتصر قاعدة بور على تحديد كيفية حساب هذه الأعداد، إذا كانت قاعدة الرد أو الاختزال هي ببساطة عبارة عن فرض، فإنه يمكن استنباطها من المبادئ الأساسية



للنظرية. وهذا هو بالضبط ما تم عمله حديثا. لكن بور لم يفكر في إمكانية مثل هذا الاستنباط، وسلك طريقا مختلفا تماما. فقد افترض، بعد انتهاء القياس الأول، أن الدالة الموجية للذرة تفقد فجأة كل ذاكرة ما حدث في الماضي لتصبح فعلا، وعلى الفور، كما تصفها القاعدة. إذن القاعدة هي قانون في الفيزياء لا يشبه أي قانون آخر. وبدون القاعدة لا نستطيع معرفة الدالة الموجية أو حساب الاحتمالات، وتصبح المقارنة بين الخبرة والنظرية مستحيلة. اختزال أو رد الدالة التدريبية إذن شيء لابد منه للسيمانطيقا التجريبية.

إن الصدوع العميقة التي أحدثها بور بالفعل في قلب الفيزياء بهاتين المجموعتين من القوانين، القوانين الكلاسيكية والقوانين الكوانتية، أصبحت أكثر عمقا واتساعا. إذا حاولنا أن نتخيل أداة القياس بوصفها مؤلفة من ذرات كوانتية، وسلمنا بقبول أن معادلة شرودنغر تصف كلا من الذرة والأداة التي تقيسها، فإننا نجد أن الاختزال أو الرد المقترح بواسطة بور يكون غير متوافق رياضيا مع المعادلة المشهورة. وهكذا يدفعنا الرد أكثر وأكثر نحو مواجهة الطبيعة الذرية للأدوات، يجب أن نرفض ذلك. إنه وضع غريب، خاصة لأن تجارب لا حصر لها، بعضها بالغ الدقة، تتفق جميعها على نقطة واحدة: قاعدة اختزال الدالة الموجية صحيحة تماما، على الأقل كما عرضتها المصفوفة.

وهكذا نجد أن المعضلة على النحو التالي: هل يوجد في دائرة التأثير مجموعتان من القوانين الفيزيائية، بجانب ظاهرة رد [اختزال] غريبة جدا لا تنتمي لأي من المجموعتين؟ أو هل توجد مجموعة واحدة فقط من القوانين، الأكثر عمومية بالضرورة (أي قوانين الكوانتم)، وأن قاعدة الرد هي ببساطة نتيجة مباشرة لقواعد أخرى؟ معظم المراجعات الفلسفية لفيزياء الكوانتم تحبذ البديل الأول، وهو الذي اختاره بور، وجرى اعتباره لفترة طويلة بمثابة الخيار الأوحد الممكن. واضح أن النتائج الفلسفية ستكون مختلفة جذريا، إذا تحول وضع الإمكانية الثانية لتكون البديل الصحيح. ومع ذلك فإن المعضلة ليست واحدة بالنسبة إلى الفلسفة، بل بالنسبة إلى الفيزياء أيضا، لأن البديل الثاني يمثل واقعيا مشكلة في الفيزياء النظرية لها إما حل موجب أو حل سالب.

العلم يتطلب وقتا، والفلسفة تستدعي مزيدا من الوقت، على الرغم من ولع العقل وقلة صبره. وسوف تكون اشتراطات بور مثالا تاما للحكمة التي عرضناها: قواعد عملية للفيزيائي، وقواعد تحذير ضرورية لإرشاد الفكر، حتى ولو كانت مؤقتة فقط. من المؤسف أنه تعدّى هذا، وإلا لكان قد عرف في التاريخ كنموذج لرجل حكيم، وليس فقط كفيزيائي عظيم حقيقة.



الجزء الثالث

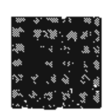
عَوْدَةٌ من الصوري إلى المَرئي
حالة الكوانتم

مقدمة

لقد قمنا حتى الآن بتقييم إلى أي مدى غزت الصورية العلم. وإدراك هذا أمر محبط حقا، على الأقل للوهلة الأولى، وقد يبدو أنه لا يبشرنا بخير إذا كانت طموحاتنا ذات طبيعة فلسفية - بعبارة أخرى، إذا ما توقعنا أن نتفهم. من ذا الذي يتظاهر بأن فهمه يتعزز بالاستسلام للغة الرموز، لمنطق شبحي، لا يقدم شيئا يمكن أن نراه، فلا مصدر للضوء؟ قد يميل المرء إلى المجاهرة بأننا قد لمسنا القاع، وبلغنا القرار بالفهم الكامل لما لا يُسبر غوره، لأساسيات العالم الفظة الباردة. كيف لنا أن نندهش إذن إذا ما عزفت عقول فضولية تغلب عليها تثبيط العزم، وأعرضت عن غموض العلم؟ ومهما يكن الأمر، فأين نحن؟ لقد أُرغمنا على التخلي عن مقدار كبير من حدسنا ولغتنا المألوفة، وهذا ما لا يمكن الارتكان إليه طويلا. إن جزءا من تمثلنا للعالم قد أصبح محظورا، وكل ما تبقى هو عالم من الذرات التي تحكمها رموز، تماما مثل

«يكفي توضيح أن أبسط رؤية لنا، وأن لغتنا المتواضعة والعادية جدا، هما النتاجان الطبيعيان للقوانين، وأننا إذن محقون في الوثوق بهما»

المؤلف



الرياضيات، لها تأويلات عديدة. لقد عانينا من خسارة ثقيلة جدا، لكن العائد بلا شك جوهري وعظيم. بفضل العلم توصلنا إلى قوانين، وعرفنا نظاما وبنية للعالم الذي نعيش فيه، وتتميز الصور الخالصة له بقوة كافية لأن توحي بأمل جديد.

القوانين واتساقها. فماذا لو أننا لم نخسر شيئا بل ربحنا كل شيء؟ تخيل أننا نستطيع إعادة بناء كل هذا، واستعادة رؤيتنا الابتدائية، وحدسنا المطمئن لعالم لا يوجد فيه شيء غريب. لكي يكون هذا ممكنا يكفي الاقتراب قليلا من الاتساق للتحقق من أن العالم المرئي هو بالقطع «مايا» الفلسفة الهندوسية، إنه الوهم الكوني. يكفي توضيح أن أبسط رؤية لنا، وأن لغتنا المتواضعة والعادية جدا، هما النتاجان الطبيعيان للقوانين، وأننا إذن محقون في الوثوق بهما.

إن ما أدعوك إليه الآن بمنزلة إعادة بناء وتنظيم من جديد. المهمة شاقة وطموحة، لأنها لا تؤدي إلى شيء أقل من نقض المدخل التقليدي للفلسفة وقلبه رأسا على عقب. فبدلا من البدء بواقع العالم، والقفز إلى استنتاجات حول مبادئه استنادا إلى ملاحظات متسرعة وتعميمات هشة متقلبة، يجب أن نسير في الاتجاه المعاكس، من الأعلى إلى الأدنى، أو من القمة إلى القاع. ولسوف نبدأ بالقوانين التي سادت بعد لأي، ونعود أدراجنا إلى الإثبات الأول، ونعيد بناءه ونبحث له عن المبرر والتسويغ على طول الطريق. إذا كانت تلك الرؤية المتساوقة ممكنة، وإذا كان من الممكن للجانبين الحدسي والصوري أن يتواجدا معا في الأمر الواقع، عندئذ لن يكون من الملائم السديد أن نأخذ أيا منهما كنقطة بداية، حيث إن التساوق عبارة عن دائرة من دون بداية أو نهاية مقررة. نحن البشر نستطيع الدخول إلى العالم عن طريق النظر أو عن طريق العلامات، من دون تمييز بين الطريقين.

كان الفيزيائيون، حتى وقت قريب، مشغولين في هذه المهمة المتعلقة بالجوانب التي يعنيهم أمرها. ولكنهم شرعوا في الهجوم على حصن الصورية المرعب، على فيزياء الكوانتم، التي صيغت مبادئها بأقصى تجريد جعلها أبعد ما تكون عن شفافية الواقع كما ندركه. وأوضحوا أن تأتي رغم



ذلك من تلك المبادئ (*). سوف نسير الآن على دربهم ونتتبع خطاهم. ونادرا ما يكون الدرب ممهدا، لأنه يجتاز منطقة من العلم حافلة بالشراك، إنها حقل ألغام حقيقي، لكني آمل أن تكون واضحة بدرجة كافية.

ربما يتساءل بعض القراء، لماذا ميكانيكا الكوانتم مجددا؟ وأنا بدوري أطلب منهم أن يتدبروا، في ما هو آت، مثالا واحدا فقط لمقاربة جديدة يبدو أنها تفضي إلى إمكانات لم تستكشف بعد. إنها الأفكار نفسها المستخدمة في أماكن أخرى، والتي ازدادت خصوبتها نتيجة تطبيقها بنجاح، يمكن لها أن تصبح أكثر فاعلية، وأكثر إقناعا. تلك مهمة تنتظر الإنجاز.

إنني على دراية تامة بأن النتائج التي تدعم مبرراتي عرضة للهجوم والانتقاد، مثلها مثل كل المشاريع البشرية، وأنها ستظل معرضة لدحض نهائي في ضوء اكتشافات جديدة. ومع ذلك، فأيا كان ما يجلبه المستقبل، يمكن إعادة بناء المسار الذي رسمته، وتطبيق المنهج مرة أخرى. وأخيرا، إنه هذا المنهج، هذه الأداة الفلسفية الجديدة، هي الأهم من أي شيء آخر.



(*) مثل هذه الأعمال التي تعزى بوجه خاص إلى الفيزيائيين موراي جيلمان وروبرت غريفيث، وجيمس هارتل، وكاتب هذه السطور (المؤلف رولان أومنيس)، معروضة بالتفصيل في كتاب:
The Interpretation of Quantum Mechanics, by R. Omnés (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1994).

وهي معروضة أيضا مع نتائج وتنقيحات حديثة في كتاب آخر أقل خوضا في غياهب التخصص الدقيق بالنسبة إلى الفيزيائيين، وهو كتاب من وضع المؤلف:
Understanding Quantum Mechanics (Princeton, N.J.: PrincetonUniversity Press, 1999).



9

بين المنطق والفيزياء

مخطط تمهيدي لبرنامج

ليس هناك ما هو أكثر من مبادئ ميكانيكا الكوانتم صرامة وبرودا. إن مفاهيمها وقوانينها مقولبة في صورة رياضية جامدة لا مفر منها، من دون أثر لأي شيء حدسي، غياب كلي للوضوح الذي نراه في الأشياء المحيطة بنا. وعلاوة على ذلك، فإن هذه النظرية تخترق الواقع إلى عمق لا يمكن أن تأخذنا إليه حواسنا. إن قوانينها كلية كونية، وتحكم عالم الأجسام المألوفة لنا تماما. نحن، الذين نسكن هذا العالم، لا نستطيع أن نجعل رؤيتنا الخاصة تسود فوق تلك القوانين المتغطرسة التي تبدو مفاهيمها كأنها تتدفق من نظام أعلى من ذلك الذي توحي به الأشياء التي نستطيع أن نلمسها ونراها ونعبر عنها بكلماتنا العادية.

لا مناص من أن مثل هذه النظرية سوف تسقط فلسفة الفرضيات التقليدية للمعرفة. من المؤكد أننا نستطيع دائما أن نفترض، مثلما فعل هيوم، أن تصورنا الحدسي للعالم نتيجة مباشرة لإدراكنا

«كل وصف لمنظومة فيزيائية يجب أن يتضمن قضايا تنتمي إلى منطق كوانتي وحيد ومتسق، وكل حجة متعلقة بالمنظومة يجب تعزيزها باستلزامات منطقية ممكنة الإيضاح والتأكيد»

المؤلف



الحسي للواقع. من ناحية أخرى، الحاجز الذي منعنا من الفهم، والذي اعتقد هيوم أنه لا يمكن هدمه، أصبح الآن على الأغلب حطاما وأطلالا. لم يعتقد هيوم أن البشر يستطيعون دائما معرفة السبب في وجود نظام وترتيب في هذا العالم، نظام نستطيع أن نراه ونتحدث عنه. إننا نواجه اليوم بالمشكلة العكسية. لقد تعرفنا أخيرا على النظام الخفي الذي يحكم الأشياء التي نراها ويعطي للغة معناها. إن الطريق التجريبي الذي رفع بيكون لواءه جعلنا ندنو كثيرا من قلب الأشياء وجوهرها. وفوق ذلك، نحن لسنا بحاجة إلى كتم أنفاسنا مع كانط في سجن الأفكار الفطرية التي تنشأ بالسليقة، فكل ما نستطيعه هو تقييد الفكر، في حين أن قدوم الصورية من شأنه أن يحث الفكر ويدفعه قدما نحو مستقبل إمكانات غير محدودة.

يقال إننا يجب أن نعترف بأن نفسنا الداخلية ممزقة بسبب التعارض بين الصورية في عقولنا والعينية أمام أعيننا. لو أردنا فعلا أن نفهم، فإن مهمتنا الأولى يجب أن تكون وضع شروط لقبول هذا التعارض. إننا بحاجة إلى إخضاع العلم الصوري، بإزالة المحرمات الجديدة التي فرضها بور، وتعتبر حالة ميكانيكا الكوانتم مثالا جيدا.

ربما لا يكون هناك أدنى شك في أن مبادئ ميكانيكا الكوانتم تتصادم مع الحس المشترك. وكان من الأفضل لنا أن نقبلها كما هي، بدلا من البحث عن تسوية زائفة بأي ثمن. على أن مثل هذا الاعتراف ينبغي ألا يكون ذريعة لرفض الحس المشترك واستبعاده بزعم أنه عديم الجدوى، اللهم إلا إذا كان السبب هو أننا لانستطيع الاستغناء عنه. العلم قبل كل شيء هو نتاج التجريب. التجربة ما هي إلا فعل، حتى لو كانت موجهة بواسطة الفكر. ضبط جهاز قياس فرق الجهد [فولتميتر voltmeter] ما هو إلا فعل، مثله مثل تجهيز مصدر مشع، وتركيب عداد غايغر (*)، ونقل العداد من مكان إلى آخر. كيف يتسنى لنا وصف كل هذه الأفعال إلا باستخدام لغة عادية؟ بالتأكيد لن يكون الوصف بالحديث عن الدالة الموجية للفولتميتر. لا يمكن لأحد أن يفكر قائلا: «اضبط مقياس فرق الجهد بحيث تعطيه دالة موجة كذا وكذا». إن هذا لا يمكن تصوره أبدا، ومثله مثل من يتخيل معلم قيادة يوضح لأحد المتعلمين ما يجب عمله لدالة موجة الفرامل عندما تكون الدالة الموجية

(*) عداد غايغر أنبوبة بها غاز، وبداخلها مصعد (أنود) على شكل سلك دقيق يحيط به مهبط (كاثود) أسطوانتين ويستخدم لعد الإشعاعات النووية. والاسم منسوب إلى الفيزيائي الألماني غايغر [المترجمان].



للفوتونات المنبعثة من ضوء إشارة مرور ذات شكل معين لن يشعر أحد بالأمان في الشوارع بعد ذلك. إن إعطاء تعليمات أو توجيهات، التفكير في أفعال شخص ما، التواصل مع ما نراه،...، باختصار، كل شيء يتعلق بالممارسة الفعلية ينتمي أيضا إلى الحس المشترك. لقد أخذنا في اعتبارنا العلم فقط، بينما، في تعميم أكثر، هناك الأفعال التي لا تُعد ولا تحصى، والتي هي جزء من حياتنا اليومية، لا يمكن تمثلها والتعبير عنها إلا بالطريقة العادية المألوفة.

أما منطق الحس المشترك فلا يمكنه أن يتعامل مع أحداث تقع على المستوى الذري. تلك الأحداث محكومة بفيزياء مختلفة تماما، فيزياء كلية شاملة، أكثر عمومية وشمولية من تلك التي تحكم العالم الذي نستطيع أن «نراه». والفيزياء الكلاسيكية المألوفة لحدسنا ما هي إلا صورة حدية تتبناها فيزياء الكوانتم عندما تطبق على مستوانا نحن.

من ثم، إذا أردنا فعلا أن نفهم، فإنه يجب علينا أن نعول على ما هو كلي وشمولي ومؤسس على وقائع، بدلا من الاعتماد على ما ثبت بالفعل أنه عرضة للخطأ. وهذا يعني بلغة المصطلحات الفيزيائية أننا ينبغي ألا نبدأ بالعالم الكلاسيكي، وإنما نبدأ بعالم الكوانتم، ثم نستنبط العالم الكلاسيكي بكل مظاهره. هذا الاستنباط لا يقتصر على استعادة بعض شظايا الديناميكا الكلاسيكية؛ إنه يجب أن يكون قادرا على إثبات كيف ولماذا يستطيع الحس المشترك (أي المنطق العادي) أن يفسرها. هناك تكمن أصالة مقاربتنا: أن يُستنبط حس مشترك من مقدمات كوانتية تتضمن حدوده - بمعنى أن نوضح أيضا تحت أي شروط يكون الحس المشترك صحيحا - وما هي حدود الخطأ في هذه الصحة. إننا على دراية تامة بأن مقاربتنا تقلب عملية التفسير التقليدية - التي يرجع تاريخها إلى الإغريق - رأسا على عقب: نحن لا نفسر الواقع انطلاقا من تمثلنا الذهني له، مسلمين جدلا بصحته دونما شك؛ بل نريد أن نفسر هذا التمثل، بمعية الحدس والحس المشترك اللذين يرافقانه، انطلاقا من معرفتنا بقوانين الكون التي اكتشفها العلم لنا.

منطق الحس المشترك

في خضم غرائب عالم الكوانتم قد نشعر بأننا تائهون تماما مثل «آليس في بلاد العجائب»، نبحث عن أي طريق نسلكه وعن أي سحر يمكن أن نثق به. لكن مبدع شخصية آليس، أي لويس كارول، كان منطقيا داهية قام

بإرشادها سرا. بعد كل هذا، أوليس المنطق هو أفضل بارقة أمل لكل من ضلوا طريقهم؟ لماذا إذن لا نعود إليه لنستعين به في محاولة تفهم هذه المتاهات المحيرة؟ كما رأينا، يمكن تطبيق المنطق على أي موضوع، بشرط أن نستطيع تحديد ثلاثة عناصر أساسية بوضوح. أولا، نحتاج إلى تحديد ما نتكلم عنه، مجال القضايا، عالم المقال، أو بعبارة أخرى نطاق الفكر Denkbereich. يوفر العنصر الثاني أدوات الاستدلال: العمليات التي تجري على القضايا (لا، و، أو) وعلاقات التكافؤ المنطقي واللزوم (إذا... إذن) (*). العنصر المكون الثالث للمنطق هو معيار السماح لنا بتقرير ما إذا كانت قضية معينة صادقة.

قبل تطبيق هذه الأدوات العمومية في إلقاء الضوء على عالم الكوانتم، سوف نخفف خاصتها التجريدية عن طريق تجسيدها بعض الشيء. سوف نبدأ باستخدامها في مناقشة ميكانيكا نيوتن، بوصفها نطاقا لم يبتعد كثيرا عن الحس المشترك، ومن ثم نستطيع تسليط بعض الضوء على طبيعته. في الحقيقة، سوف نقطع نصف الطريق خلال المسافة التي تفصل عالم الكوانتم الصوري عن الحس المشترك بإسباغ لمسة من الصورية على هذا الأخير.

في الوقت الحالي، سوف نأخذ في اعتبارنا فقط تلك القضايا المتعلقة بموضع جسم فيزيائي وسرعته في لحظة معينة. هاتان الكميتان الفيزيائيتان تُكَوِّنان نطاق الكينِماتيكا kinematics، وهو ذلك الفرع من الميكانيكا الكلاسيكية الذي يسبق الديناميكا (في الترتيب الطبيعي)، ويعني بدراسة الحركة مستقلة عن سببها.

المثال الذي نسوقه هو حالة بندول يتذبذب في مستوى رأسي. نحتاج إلى عدد واحد لتحديد موضعه، الزاوية x التي يصنعها الخيط مع الرأسي، وعدد آخر v يرمز إلى سرعته، وفي هذا تنص أبسط قضية فقط على القيمتين (x,v) للكميتين: «إحداثي الموضع هو العدد x والسرعة هي العدد v». لاحظ أن هذا يفترض سلفا أن كلا العددين x وv يمكن معرفتهما بالضبط، بدقة تصل إلى خانات عشرية غير محدودة، إذا لزم الأمر. الآن مثل هذه القضية لا تستطيع أن تصف واقعة إمبيريقية، إذا كان السبب الوحيد هو استحالة

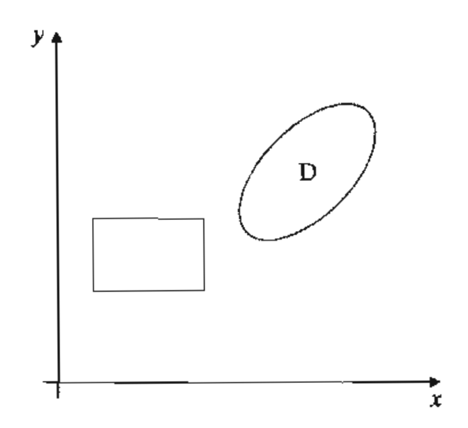
(*) التكافؤ قد يكون بين القضية الواحدة ونفسها، فيكون معبرا عن الهوية . كما قد يكون بين قضيتين أو أكثر، وهو يعبر في الوقت نفسه عن اللزوم المتبادل بين القضايا المتكافئة، بمعنى أن كلا منها تلزم عن الأخرى، وتستلزمها كذلك. (راجع: د. عزمي إسلام، أسس المنطق الرمزي، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ١٩٧٠. وقارن: د. محمد قاسم، نظريات المنطق الرمزي، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ١٩٩١. ص ٥٣ وما بعدها) [المترجمان].



تحقيق دقة متناهية عمليا نظرا لمحدودية أجهزة القياس. والأكثر من ذلك أن القضية المذكورة أعلاه قضية أولية متنافرة مع ميكانيكا الكوانتم في ضوء علاقات اللا يقين لهيزنبرغ. وهكذا، عند الشروع في دراسة أي زاوية، علينا أن نلجأ إلى قضايا أخرى تعكس الواقع التجريبي على نحو أفضل ولا تتنافر مع قوانين الكوانتم، التي تُعرف بأنها القضايا الأساسية بدرجة قصوى.

افترض أننا نقيس الموضع الابتدائي للبندول باستخدام أداة قياس دقتها ثانية واحدة للقوس ووجدنا أن x تساوي ١,١٢٣ ثانية مثلا. بمعرفة كفاءة أداة القياس ودرجة دقتها يمكننا التأكد فقط من أن x أكبر من ١,١٢٢ وأقل من ١,١٢٤ ثانية، وأن x تساوي ١,١٢٣ بخطأ مقداره Δx لا يزيد على ١ . وبالمثل، بمعلومية الذبذبات الممكنة، وتأثير تيارات الهواء، واهتزاز يدنا عند تحرير البندول، وغير ذلك، سوف نقول إن السرعة الابتدائية v هي 0 ، بخطأ لا يزيد على Δv مليمتر في الثانية. عندئذٍ تكون القضية الإمبيريقية المناظرة هي: «موضع البندول يقع بين ١,١٢٢ و١,١٢٤ وسرعته تكون بين -٠,٠١ و + ٠,٠١.

إذا قمنا بتمثيل الحالة بيانيا في نظام الإحداثيات الديكارتية، فإن النقطتين (x,v) اللتين تصدق عندهما القضية المذكورة تقعان كلتيهما داخل مستطيل (تقاطع شريطين متوازيين على المحورين، بحيث يقع الإحداثي x بين ١,١٢٢ و١,١٢٤ ويقع الإحداثي v بين - ٠,٠١ و + ٠,٠١).



الشكل (١): تعرف هيئة جسم ما (بندول، هنا) في الفيزياء الكلاسيكية بإحداثي موضع x وإحداثي سرعة v.
عندما تُعطى هاتان الكميتان في حدود خطأ ما معين فإن النقطة المناظرة تقع داخل مستطيل. والأكثر تعميميا يمكن أن تقع النقطة داخل منطقة D مثل تلك الموضحة هنا.



وبهذه الطريقة تكون كل قضية أولية في الكينِماتيكا مصاحبة دون أي لبس لمستطيل معين على المستوى. وتكمن ميزة استخدام التمثيل البياني في السهولة التي يمكن بها وصف العمليات المنطقية عندما تطبق في مناطق من السطح المستوي أو من الفراغ. ونبدأ بأن نأخذ في اعتبارنا قضايا أكثر عمومية، بالرجوع إلى مناطق اختيارية تحكمية من السطح المستوي بدلا من مستطيلات بسيطة (الشكل ١). بالنسبة إلى منطقة معينة هي D من السطح المستوي نطبق القضية: «العددان x,y هما إحداثيا نقطة في المنطقة D». يرمز لهذه القضية بالحرف D. إذن القضية لا – D تناظر المنطقة خارج D (المكملة $\bar{D}$ للفئة D)؛ القضية «D وD'» [أي القضية D ولا D] تناظر تقاطع المنطقتين D وD'، والقضية«D أو D'» تناظر اتحادهما.

وكذلك يسهل جدا ترجمة العلاقات المنطقية للتكافؤ واللزوم بيانيا. D و D'تكونان متكافئتين إذا تطابقت المنطقتان المناظرتان D وD'، وعلاقة اللزوم $D \Rightarrow D'$ تناظر الحالة التي تكون فيها المنطقة D متضمنة في المنطقة D'. تكمن أهمية المتواضعات الموضحة أعلاه في حقيقة مفادها أنها تفي بمتطلبات بديهيات المنطق الأساسية، والفضل يرجع إلى جورج بول كما نعلم. وهكذا تصبح العمليات المنطقية معالجات هندسية للفئات. وتكون الكينِماتيكا بأسرها، بما في ذلك الطريقة التي نتحدث بها عن الكينِماتيكا (أي منطقها)، قد اختُزلت جميعا إلى صورة رياضية بسيطة.

لإكمال تطبيق المنطق على هذا الفرع من العلم يجب علينا أن نحدد المعيار الذي يتأسس عليه صدق القضية. وعلى وجه الدقة تكون قضية ما عن الواقع صادقة عندما تتفق مع ما هو عليه فعلا. أو دعنا نوظف صيغة تارسكي الأنيقة، فنقول «الوردة حمراء» قضية صادقة حينما تكون الوردة حمراء (*)، بعبارة أخرى، عندما نستطيع التحقق من أن لون

(*) يتحدث المؤلف عن معيار التناظر في الحكم بالصدق. بمعنى الحكم بصدق قضية ما عندما تتطابق مع واقعة مناظرة، وقد ظفر هذا المعيار ظفرا منطقيا عظيما بتمييز ألفرد تارسكي بين اللغة الشيئية أو الموضوعية وبين اللغة البعدية أو الشارحة: فأوضح أن العبارات التي تشرح التناظر مع الواقع هي عبارات من اللغة البعدية، أي عبارات حول عبارات أخرى فتأتي بعدها، أما العبارة أو القضية ذاتها التي نحكم بتناظرها مع الواقع، وبالتالي بصدقها، فهي من اللغة الشيئية التي تنصب على موضوع الحديث. هذا الاختلاف في المستوى المنطقي بين نوعي العبارات جعل معيار التناظر للحكم بصدق قضية معيارا متسقا. ومن دون هذا الفصل الذي اصطنعه تارسكي سيقع أي حكم بالصدق في تناقضات ودورانات، من قبيل قول أبمنديز الإقريطي «كل الإقريطيين كذابون». وهذا مثال شهير أورده المؤلف في موضع سابق [المترجمان].



الوردة قيد الاعتبار أحمر حقيقة. في حالة الكينِماتيكا، بقياس موضع البندول وسرعته في الواقع يمكننا التثبت من صدق قضية من النوع الذي قدمناه.

الميكانيكا الكلاسيكية والحتمية

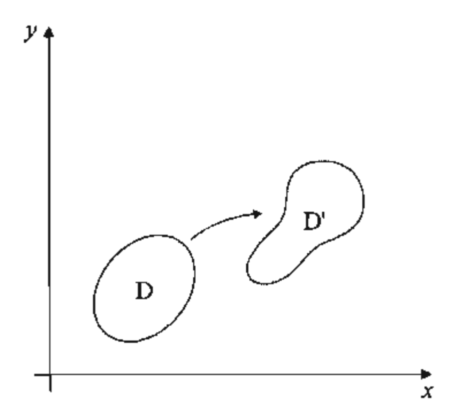
نستطيع أن نعمق فهمنا لمنطق الحس المشترك بالانتقال من الكينِماتيكا إلى الديناميكا الكلاسيكية. هذا الطور الجديد ليس مجرد تكرار لسابقه، لأنه سوف يسلط بعض الضوء على طبيعة الحتمية وعلى مفهوم الصدق كما نفهمه عادة.

من الناحية الصورية، فإن قضية ما أولية في الديناميكا لا تعدو أن تكون قضية في الكينِماتيكا ذُكر فيها الزمن صراحة، مثال ذلك: «إحداثيا الموضع والسرعة يقعان في منطقة معينة D عند الزمن t». لترجمة هذا إلى مصطلحات هندسية نحتاج الآن إلى نظام إحداثيات ثلاثي الأبعاد لتمثيل النقط (x, v, t) فيه، لكننا لن نخوض في التفاصيل.

إدخال الزمن يجلب ما هو أكثر من مجرد بعد آخر، لأن معادلات الحركة الكلاسيكية تساعد على الربط بين حالات تحدث عند أزمنة مختلفة. ومع افتراض أن إحداثيي الحركة الكينماتيكيّة v, x للبندول معلومان عند الزمن t، فإن الديناميكا الكلاسيكية تتيح لنا استنتاج الإحداثيين الجديدين 'x' ، v عند لحظة زمنية أخرى ('t) عن طريق حل معادلات نيوتن. هذه العلاقة تعمل في كلا اتجاهي الزمن، للأمام وللخلف (إذا تجاهلنا تأثير الاحتكاك)، بأن تأتي اللحظة 't بعد t أو قبلها.

في أي حالة واقعية، عندما لا يمكن تصور إحداثيات ذات دقة متناهية، يمكن أن نأخذ في اعتبارنا القضية a التي يقع الإحداثيان x ، v طبقا لها في منطقة معينة D عند زمن t. تتحول كل نقطة x ، v بالحركة إلى نقطة أخرى 'x' , v عند زمن 't. سوف نرمز بالحرف 'D للمنطقة المتولدة بالنقطة 'x' , v، في حين توصف Dبالنقطة x , v، وتكون b رمزا للقضية التي تنص على أن الإحداثيات الكينماتيكية تقع في المنطقة 'D عند زمن 't. ينبغي أن يكون واضحا إذن أن القضيتين a و b متكافئتان منطقيا (الشكل ٢).





الشكل (٢): الطبيعة المنطقية للحتمية. من الناحية المنطقية يتكافأ القول بأن إحداثيي الموضع والسرعة يقعان في منطقة معينة D عند زمن معين، والقول إنهما يقعان داخل منطقة أخرى 'D عند لحظة زمنية أخرى، حيث إن D تحولت إلى 'D بقوانين الحركة الكلاسيكية (أي النيوتنية).

هذا يكشف عن وجه منطقي خالص للحتمية: الحتمية الكلاسيكية هي تكافؤ منطقي بين قضيتين في الديناميكا النيوتونية بالنسبة إلى لحظتين زمانيتين مختلفتين. وحتى لو بدا أن هذه الملحوظة قد تبدو عادية أو غير ذات قيمة، فإنها على الرغم من ذلك تفتقد درجة كافية من الفكرة الرئيسية للحتمية التي على أساسها يحدد الماضيُ الحاضرَ على نحو كامل؛ والعكس بالعكس يحدد الحاضر الماضي (بعدم وجود احتكاك). هكذا كان تصور لا بلاس للحتمية.

وأيضا يتعزز مفهوم الصدق عندما يؤخذ الزمن في الاعتبار. قد نشهد حادثة تحدث عند الزمن t ولا سبيل إلى الشك فيها. على سبيل المثال، أستطيع أن أرى أن الوردة حمراء عند ظهر اليوم، السابع من سبتمبر. فهل يمكن أن أجزم بأن النتيجة الحتمية لهذه القضية الصادقة قد تكون صادقة بدرجة مكافئة، كنتيجة منطقية، وأن القضية - التي لا يمكن التحقق من صدقها إلا في وقت لاحق - التي تقضي بأن «الوردة تذبل عند ظهر الخامس عشر من أكتوبر» تكون أيضا صادقة؟ هناك شرطان يجب تحقيقهما أولا، وأهمهما على الإطلاق، هو وجود قانون كوني عام للطبيعة، ليكن نظريا أو تجريبيا، وبناء عليه تذبل كل الورود خلال شهر واحد. إنه قانون من النوع المتضمن في مبادئ نيوتن في حالة

الديناميكا، لكن من الواضح أن الحس المشترك يفترض مسبقا عددا هائلا من القواعد الضمنية الأخرى. إن الحس المشترك السوي، وليس الحكمة العلمية، هو الذي يمنع إنسانا ما في حالة حب أن يقطع الزهور قبل شهر واحد من عيد القديس فالنتين [١٤ فبراير]. الشرط الثاني لكي تكون القضية المستدل عليها صادقة، هو مجرد شرط منطقي، فلا بد للقانون العام السابق ذكره أن يتضمن فعلا صدق القضية التي تقضي بأن «الوردة تذبل عند ظهر الخامس عشر من أكتوبر»، وذلك تبعا للزوم صدق القضية الأولية «الوردة تكون حمراء عند ظهر السابع من سبتمبر».

ريما تبدو المناقشة السابقة مبسطة جدا، لكنها كانت مقصودة فقط بهدف جعلنا أقرب إلى رؤية العالم الذي تتواصل فيه صورية الأشياء وواقعيتها على نحو طبيعي.

بمساعدة ملاك

تبدأ الصعوبات الحقيقية عندما ندخل عالم الكوانتم. وإذا كنا نرغب في تنفيذ البرنامج حتى نهايته، ذلك البرنامج الذي خططنا له في مطلع الجزء الثالث، فيجب أن نكون مستعدين لأن نتخلى عن كل عوائدنا القديمة في التفكير، على الرغم من حقيقة مفادها أن الحس المشترك مترسخ في عقولنا لدرجة يستحيل معها تجاهله عمليا، حتى ولو للحظة. ومع ذلك، فإن الأمر يستلزم أن نفترض منذ البداية المبادئ الصورية للفيزياء التي نعتبرها الأعمق والأكثر يقينا، إذا ما ظهر الحس المشترك مرة أخرى في النهاية. إنه المران الذي يجب أن نستسلم له إذا كنا نرغب في الإقناع بهذه الأعجوبة: الاتفاق الكامل بين الفكر والواقع.

إذا كانت طبيعتنا البشرية من هذا النوع الذي يمنعنا من التغلب على مخططات تفكيرنا، فإننا نستطيع دائما أن نتخيل كائنا جديدا في حل من قيودنا الدنيوية، كائنا يكون قادرا على أن يتنفس أثير النظرية الخالصة الذي يستمد منه إلهامه الروحي، مما يجعله ملاكا. لماذا لا نستدعي ملاكا يعيننا على إيجاد مخرج؟ سوف يكون هذا مجرد حيلة أدبية بلاغية، تشبه شخصية هورن الساذج التي ابتدعها فولتير ليمثل البساطة في أنقى صورها. أيضا،



سنجد أنه من المفيد استدعاء هذه الشخصية من حين لآخر، ليقوم بدور الخبير في المقاربة الصورية، ويكون على الأخص ذا ريبة في الحجج المبنية على كل ما هو مألوف جدا من مظاهر مضللة.

دعنا إذن نتخيل ملاكا حديث الوجود يعيش خارج العالم المادي، في ملكوت الفكر الخالص، حيث سيتم تدريبه تدريبا كاملا. وبما أن الأرض هي مكانه المقصود في النهاية، فإنه يجب أن نعلمه كل شيء عن العالم الأرضي، ولكن من دون أن نطلعه عليه بعد، وذلك لكي نجنبه صدمة كبرى. يجب أن يتعلم تدريجيا كيف نتصور نحن هذا العالم. ملاكنا لديه معرفة قوية بالمنطق والرياضيات، حيث من السهل عليه في فردوسه أن ينبغ في هذين العلمين، يجب أولا أن نشرح له، بلطف ووضوح، ما هي المادة.

سوف يبدأ إذن بتعلم قوانين الطبيعة الأساسية، وخاصة قوانين فيزياء الكوانتم: يتألف العالم من جسيمات توصف بدوال موجية تتطور طبقا لمعادلة شرودنغر. ونظرا إلى أن الملاك يجب عليه أن يتعلم أيضا الخلفية النظرية الضرورية، فإننا يجب أن نأخذه إلى الطريق الذي قاد البشر من الحس المشترك إلى الصورية المنطقية للفيزياء الكلاسيكية، ولكن في الاتجاه المعاكس، أي الذهاب من الصورية الرياضية الكاملة إلى قضايا يفهمها البشر، ولكنها أيضا صحيحة تماما وواضحة للملاك الذي هو نظري بحت.

لا توجد في الفيزياء قضية أبسط من تلك التي تقرر كمية فيزيائية ما عند لحظة زمنية معينة. إلا أن مثل هذه القضية ليست أولية كما قد تبدو، لأن مفهوم الكمية الفيزيائية (إحداثي موضع، أو سرعة، أو طاقة، مثلا) هو مفهوم مجرد في ميكانيكا الكوانتم بصورة تدعو إلى الدهشة. ومن دون التطرق إلى التفاصيل، دعنا نقول فقط إن الكمية الفيزيائية (تسمى أيضا القابلة للملاحظة • observable) يعبر عنها رياضيا بعامل إجراء [مؤثر] operator، أي بوسيلة من النوع الذي يصنع الدوال: تُعطى دالة في صورة دخْل فتنتج دالة أخرى في صورة مخرج. تتأكد السمة الصورية لمثل هذا المفهوم على وجه الخصوص عندما تكون الكمية الفيزيائية هي مُركِّبة component السرعة، لأن عامل الإجراء [المؤثر] المناظر في هذه الحالة يحسب مشتقة دالة الموجة ويقسمها على العدد التخيلي الخالص i. من الأفضل حينئذ تركها عند هذا الحد، ولنلاحظ أن الملاك لا يرى هنا أي

مشكلة، حيث إنه ليست لديه أي فكرة عما يعنيه وجود أداة قياس تعطي تفسيرا محددا لتلك الكمية. بالنسبة إلى الملاك، كل شيء واضح تماما لأن كل شيء تجريدي خالص، رياضي بحت.

ما يهم الملاك هو أن القضية «قيمة الكمية الفيزيائية A تنحصر في الفترة D عند زمن t» واضحة تماما. وهذا ما سوف نسميه خاصية • property، على سبيل المثال، تعبيرا عن حقيقة مفادها أن الزاوية x التي يصنعها بندولنا مع الرأسي تكون بين ١,١٢٣ و١,١٢٤ ثانية عند زمن معين. لكن ما الذي يجب أن يصنعه الملاك بتلك الخاصية؟ إنه ليست لديه أدنى فكرة عما قد يعنيه «بندول» (في ما عدا أنه مجموعة ذرات)، أو عن المعنى الحدسي لـ «موضع» (الذي هو بالنسبة إلى الملاك مجرد عامل إجراء [مؤثر] معين).

ونظرا إلى أن الملاك لا يعرف أي شيء عن الواقع بعد، فإننا لا نستطيع الحديث عن قياسات تم الحصول عليها باستخدام أداة تعطي، بالنسبة إلينا، معنى ما عينيا محددا للخاصية السابقة. دلالة «العيني» لا تنتمي لنظرية خالصة، وأداة القياس بالنسبة إلى الملاك ما هي إلا نظام كوانتي كبير لا أهمية خاصة له. لا شيء من ذلك كله يتعلق بالملاك، اللهم إلا ما يصاغ بمصطلحات صورية، أي باللغة الوحيدة التي يفهمها: منطوق الخاصية هو ما يقوم وحده بتحديد موضوع رياضي معين يميزه تماما.

باختصار، نحن ما زلنا في النطاق الصوري. وما هو بالنسبة إلينا خاصية نستطيع أن نفهمها إنما يكون له معنى بالنسبة إلى الملاك فقط لأن المعجم الرياضي للنظرية يوفر له ترجمة مثالية. مثل هذه الترجمة الرياضية لخاصية ما تسمى عامل إسقاط • projector (أو projection operator). دعنا فقط نقل إنه أيضا عامل إجراء ليس له إلا قيمتان ممكنتان هما الصفر 0 تحديدا والواحد 1 تحديدا.

سوف نعطي مثالا واحدا فقط، وهو في الحالة البسيطة للخاصية التي تنص على أن إحداثي الموضع x لجسيم يقع بين 2 و3 (بالنسبة إلى وحدة طول معينة لا ضرورة لتحديدها). عامل الإسقاط المناظر، الذي يكون له معنى فقط عندما يطبق على دالة موجية $\psi(x)$، يمكن النظر إليه على أنه



عملية تأثيرها هو قص جناحيّ $\psi(x)$، إذا جاز القول: تظل الدالة دون تغيير لقيم x أكبر من 2 وأقل من 3، بينما تصبح كل قيم $\psi(x)$ صفرا خارج هذه الفترة، تحت تأثير عامل الإجراء.

في هذا المثال أيضا يمكننا أن نرى بأي معنى يمكن أن يأخذ عامل الإسقاط القيمتين صفرا أو واحدا. إذا كانت دالة الدخْل مختلفة عن صفر فقط داخل الفترة من ٢ إلى ٣ ، فإن عملية «قص الجناح» تتركها من دون تغيير - أي أنها مضروبة في واحد؛ أما إذا كانت دالة الدّخل بالفعل صفرا داخل هذه الفترة، فإنها ستكون صفرا في كل مكان بعد تطبيق عامل الإجراء [المؤثر]، أي أنها مضروبة في صفر. أما محاولة التفسير الأبعد من هذه الحالة البسيطة بشكل واضح، فسوف تأخذنا بعيدا جدا. الشيء الأساسي الذي يجب أن نتذكره هو أن كل خاصية لها عامل إجراء [مؤثر] مناظر قيمتاه الممكنتان هما فقط صفر وواحد.

فقط صفر 0 وواحد ١ ! تذكر رحلتنا خلال الرياضيات الصورية، حيث استُخدم الرمزان 0 و ١ لكي يرمزان إلى الكاذب والصادق. لقد قابلنا للتو بعض الكيانات الرياضية،عوامل الإسقاط projectors، التي تمثل خصائص ولا تأخذ قيما غير الصفر والواحد. هل يعني هذا أن خاصية ما لا يمكن لها أن تكون صادقة أو كاذبة، مثلما نعتقد كلنا ببساطة - بطريقة اعتقادنا نفسها بمبدأ الوسط المرفوع؟ دعنا نضف بسرعة أن هذا كله مجرد إشارة أو دلالة تقريبية، لمحة خاطفة من خلال انقشاع مفاجئ للضباب. ولايزال أمامنا طريق طويل يجب أن نقطعه قبل أن نتمكن من النجاة. إننا على الأقل نتقدم في الاتجاه السليم، وبدأ الملاك يتحدث بلغة تشبه لغتنا الخاصة بنا.

ما تمكن ملاحظته

أنا لا أعلم، أيها القارئ العزيز، ما إذا كنت تشعر بأنك ملاك. ربما تشعر أنت أحيانا ولكن، مع الأسف، أنا لا. على رغم ذلك، كلانا يعلم أن النظر إلى سؤال ما من زوايا مختلفة قد يساعد على فهمه. لهذا دعنا نلق نظرة على المفهوم المراوغ لما تمكن ملاحظته observables من وجهة نظر أقرب إلى الآدمية.

قد تكون على علم بمفهوم المتغير العشوائي random variable في نظرية الاحتمالات الكلاسيكية. إذا كنت لا تدري، فهاك ما يعنيه ذلك بصفة جوهرية: افترض وجود جسم، وليكن زهر نرد، له ستة أوجه نميزها بالحروف من a إلى f. عندما يستقر الزهر على الطاولة ويكون الوجه العلوي هو a، فإننا نسمي هذا حدثا event ويمكن تمييزه أيضا بالحرف a. كل حدث يصاحبه عدد. على سبيل المثال الوجه c منقوش بثلاث نقط، فيكون الرقم المصاحب له هو 3 . وأخيرا، لكل حدث ممكن احتمال يعتمد على الظروف الفيزيقية (ما إذا كان الزهر محشوا أو مفرغا، أو الطريقة التي يُقذف بها). المجموعة المكونة من المفاهيم الثلاثة، «الأحداث، الأعداد، الاحتمالات»، تسمى متغيرا عشوائيا. إنه مصطلح بسيط ومفيد، ويمكنك الاعتماد عليه في حساب مقدار الخسارة التي تستطيع أن تتوقعها في زيارتك التالية لمدينة لاس فيغاس [التي تشتهر بصالات المقامرة].

افترض الآن أن زهر النرد الذي معك مكعب كوانتي. ربما لايزال هناك ستة أحداث مختلفة مصحوبة بالأعداد نفسها كما سبق. دعنا ننح الاحتمالات جانبا - إذا كنت تفضل ذلك، فهي تعتمد على طريقة رمي قطعة النرد، أو حالتها، أو دالتها الموجية الابتدائية - وبدلا من ذلك أدخل مفهوما جديدا لم يحدث في حالة المتغير العشوائي الكلاسيكي: يعبر عن كل حادثة بعبارة، على سبيل المثال، «الوجه a هو الأعلى «أو تتم الحادثة a». وهذا نوع من إقحام المنطق في اللعبة، فكل عبارة تأخذ إحدى قيمتي الصدق، الصفر أو الواحد، طبقا لما إذا كانت صادقة أو كاذبة. يجب أن نشترط صراحة أنه عندما تكون العبارة a صادقة، فإن جميع العبارات الأخرى تكون كاذبة.

الطريقة الرياضية البسيطة لإدراك هذه الخصائص لقيم الصدق هي التعبير عن كل عبارة أساسا بعامل إسقاط، مثلما فعل الملاك. التعبير عن المحتوى المنطقي للعبارة يكون أفضل كثيرا بهذه الطريقة بدلا من التعبير بكلمات اللغة الصريحة. على سبيل المثال، عند اعتبار القيمة x لإحداثي موضع جسيم فإن الجملتين «x تقع بين -١ و+١ «و» x ٢ بين ٠ و١» تنطقان بكلمات مختلفة رغم أنهما بالمعنى نفسه، ويصاحبهما عامل [مؤثر] إسقاط متطابقين، على أننا ذكرنا هذا بالفعل.



وهكذا فإن ما تمكن ملاحظته هو كمية فيزيائية كوانتية تظهر على أنها ذات محتوى منطقي وسمة كمية معا. إنها مجموعة «أعداد وعبارات» أو، بمصطلحات رياضية «أعداد ومؤثرات إسقاط». ومع ذلك، يجب ألا يفاجأ المرء بأن بعض العبارات، لبعض الأحداث، يجب أن تكون جزءا أصيلا وجوهريا من الكمية الفيزيائية في نظرية احتمالية خالصة. ما إن نتحقق من هذا، تفقد الكميات الكوانتية الممكنة ملاحظتها كثيرا من غموضها. ويتم الحصول على الكمية الممكنة ملاحظتها، كما هو معروف عادة، عن طريق ضرب كل عدد (كل قيمة ممكنة من الكمية الممكنة ملاحظتها) في عامل [مؤثر] إسقاط المُناظر، ثم جمع النتائج. لهذا فإن الممكن ملاحظتها تحتوي على معلومات عن القيم الممكنة للكمية والجمل المصاحبة كما عبرت عنها مؤثرات الإسقاط.

يسمي الرياضيون الأعداد «القيم الذاتية eigenvalues»، ويقال لمؤثرات الإسقاط أنها تسقط على «متجهات ذاتية eigenvectors»، ويسمى حاصل الجمع الذي ذكرناه توا - المبرهنة الطيفية لفون نيومان. إنها، من دون شك، لا تعد لغة شديدة الشفافية. ولكن قبل هذا كله، لا تستطيع الرياضيات أبدا أن تمدنا بمعنى. والأحرى أن تقوم بحجبه، وقد رأينا حالا أن المعنى يجب أن يأتي من داخل الفيزياء ذاتها، من طريقة معينة لوصف الطبيعة.

مبادئ لهجة كوانتية

في الوقت الحالي، لا يعد ملاكنا ثرثارا مكثارا. إنه يعرف فقط كيف يكرر جملا من قبيل: «قيمة الكمية الفيزيائية A تنحصر داخل المنطقة D عند زمن t»، لشتى قيم A، D، t. إنه حتى لا يبدو يعرف من أبسط أوليات المنطق ما يجعله قادرا على أن يقول، على سبيل المثال، «قيمة الكمية الفيزيائية A تنحصر داخل المنطقة D عند زمن t و«قيمة الكمية الفيزيائية B تنحصر داخل المنطقة Δ عند زمن t». فالملاك ليس بارعا في الحديث بعد، بحيث يمكن أن يقول عنه المرء إنه متحدث مفوه.

يوجد اختلاف جوهري بين لغة الملاك ولغتنا، في ما يتعلق بمفهوم التبادلية commutativity. تؤدي لا تبادلية المؤثرات [عوامل الإجراء] دورا حاسما في ميكانيكا الكوانتم. إنها تقوم على حقيقة مفادها أن حاصل ضرب



كميتين فيزيائيتين كوانتيتين A وB لا يكون إبداليا بصورة عامة، بمعنى أن حاصل الضرب AB لا يساوي حاصل الضرب BA. تذكر أن الكمية الفيزيائية A هي عامل إجراء [مؤثر] يكافئ بصورة استقرابية برنامج كمبيوتر يحول أي دالة موجية معينة ψ إلى دالة أخرى Aψ الكمية الفيزيائية B تتبع برنامجا آخر يطبق على الدالة Aψ لينتج الدالة الجديدة BAψ. إذا طبقنا البرنامج B أولا، يتبعه برنامج A ، نحصل على دالة ABψ لا يلزم أن تكون مساوية للدالة BAψ.

تمكن صياغة التفسير السابق بمصطلحات عينية أكثر. بما أن الدالة الموجية تكون مصاحبة لحالة منظومة فيزيائية، دعنا نفترض نظاما لنا يتكون من ثمرة بطاطس وبعض الماء. وبدلا من عوامل إجراء [مؤثرات] مصاحبة للكميتين الفيزيائيتين A وB، سوف نأخذ في اعتبارنا ما يسمى مؤثرات التطور الديناميكي dynamic evolution operator التي تبدي افتقادا للتبادلية شأنها شأن المؤثرات [عوامل الإجراء] السابقة لها. ليكن A هو مؤثر التطور الذي يحول الدالة الموجية F لثمرة بطاطس نيئة إلى دالة أخرى لثمرة بطاطس مطهية، وليكن Bمثلا لمؤثر تطور يحول ثمرة البطاطس الكاملة إلى بطاطس مهروسة. إذا أجرينا المؤثرين A، ثم B، بهذا الترتيب، نحصل على BAψ، الدالة الموجية لثمرة بطاطس في صورة هريس شهي، ويمكننا أن نطرح ماء الطهي. من ناحية أخرى، إذا ما أتبعنا الترتيب العكسي B A، أي نهرس ثمرة البطاطس قبل طهيها، فإننا سوف نحصل على بطاطس مائعة لا طعم لها. اتفق الطهاة بالإجماع، مثلما فعل الملائكة والرياضيون، على أن العمليات لا تخضع للتبادلية بالضرورة.

على رغم ذلك، بعض الكميات الفيزيائية تتبادل. هذه هي حالة إحداثيي الموضع X وY لجسيم، أي الإحداثيين على طول المحورين الأول والثاني بالترتيب. يمكننا في هذه الحالة أن نجمع بين الصفات المتناظرة باستخدام «لا»، «و»، «أو» في نمط متناسق تماما، وأن نقول - بالنسبة إلى ذرة هيدروجين مثلا - «إن قيمة الإحداثي X بالنسبة إلى موضع إلكترون تقع بين ٠,٧ و٠,٨ وقيمة الإحداثي Y تقع بين ١,١ و١,٢، «حيث إن هناك مؤثر إسقاط يجعل لهذه الخاصة معنى باستخدام مثل تلك الجمل كعناصر والجمع بينها بواسطة «و»، «أو»، «لا»، نستطيع أن نصف عناصر ذات هندسة اختيارية



تحكمية. الخاصيتان الأوليتان X وY تصفان جميع المستطيلات في المستوى، وكما تعلم كل طابعة، يمكن رسم أي شكل مستوٍ باستخدام مستطيلات ذات حجوم صغيرة بدرجة كافية.

تختلف الحال تماما إذا ما حاولنا أن نجمع بين إحداثي، X، مثلا في المُركِّبة Uللسرعة في الاتجاه نفسه، وذلك لأن مؤثرات الإسقاط المناظرة ليست تبادلية. ومن ثم فإن القضية التي تنص على أن «قيمة X تنحصر في الفترة D وقيمة U في الفترة D تكون غير ذات معنى بالنسبة إلى الملاك، حيث يستحيل مصاحبتها بمؤثر إسقاط. لهذا يوجد في ميكانيكا الكوانتم افتراضات يمكن التعبير عنها بلغة عادية ولكن لا يكون لها معنى بسبب الصورية المتضمنة فيها.

إن جون فون نيومان، الذي وضع أساس منطق الكوانتم، قد لفت نظره بشكل خاص هذا التحريم، وتفكر، جنبا إلى جنب مع جورج ديفيد بيرخهوف G.D. Birkhoff (١٨٨٤ - ١٩٤٤)، في طريقة لوصف القضايا المشتملة على كميات لا تبادلية في ما بينها. ونجحا جزئيا عن طريق استحداث مؤثر إسقاط ذي علاقة مبهمة بالقضية موضع الارتياب والنقاش: «قيمة X تقع داخل D وقيمة U تقع داخل Δ». لسوء الحظ، أصبحت الصلة بين المعنى العادي للجملة ومؤثر الإسقاط بالغة الضعف، إذ بينما نجد القضية تحدد عامل الإسقاط، نجد هذا الأخير لم يعد يسمح باستعادة القضية. لم يعد ثمة قاموس يسعفنا ولم تعد هناك لغة بل مجرد ثرثرة، وعلاوة على ذلك لا تحمل معنى، لأنها لم تخضع لجميع قواعد المنطق. عندئذ تساءل بيرخهوف وفون نيومان عما إذا كان منطق عالم الكوانتم لم يخضع بعد هذا كله لقوانين كانت مختلفة - وأقل تقييدا - عن القوانين المكرسة للمنطق الأرسطي.

لا يبدو أنه من الممكن تبني مثل هذه الفكرة الجريئة، وذلك - قبل كل شيء - كما رأينا للتو، لأن الترجمة الرياضية للغة العادية لم تعد أمينة. السبب الثاني يتعلق بالتساوق: الصورية الكامنة في النظرية هي صورية رياضية، ومن ثم أرسطية؛ والآن نحتاج إلى أن تمثيلها بنية غير أرسطية لتفسير النظرية، أي للتوفيق بين الفيزياء الإمبيريقية والحس المشترك، ويكون الأخير أرسطيا كما يبدو. وعندئذ يمكن للمُركِّبة component الكوانتية غير الأرسطية أن تحاط بالمُركبتين الرياضية (الأرسطية) والإمبيريقية (الأرسطية



أيضا). تبقى هنالك شطيرة عسيرة الهضم وينبغي أن تُزدرَد، تؤدي بنا إلى السبب الثالث والأخير لرفض المقاربة السابقة: بعد أكثر من خمسين سنة، أصبحت بالكاد أكثر تطورا مما كانت عليه في اليوم الأول. لهذا سوف نهجرها، لكي نركز بإصرار على مميزات ملازمتنا لصورٍ تكون في واقع الأمر أكثر ملاءمة وعقلانية، ومنطقية.

تواريخ

هي فكرة بسيطة ومثمرة طرحها العام ١٩٨٤ الفيزيائي الأمريكي روبرت غريفيث R. Griffiths من جامعة كرنيغي ميلون. اقترح غريفيث، بدلا من النظر فقط إلى خصائص منعزلة تحدث في اللحظة نفسها، أن يؤخذ في الاعتبار ما يعادل تاريخ منظومة فيزيائية، أي سلسلة من الخصائص التي تحدث في لحظات متتالية. وهذه الفكرة، رغم بساطتها، لم تُكتَشف من قبل لأنها بدت متناقضة مع لا تبادلية المؤثرات [عوامل الإجراء]. واجه فون نيو مان الصعوبة نفسها. كان الاعتقاد أنه يستحيل أن يقال عن إلكترون يزور متحف اللوفر: «إنه عند الساعة ٩:١٢ يكون في قاعة الآثار؛ وعند الساعة ١٠:٣٠ تكون سرعته بين ٢,٣ و٥,٤ كيلومتر/ثانية؛ وعند الساعة ١٢:٤٧ يكون في قاعة كورو».

لا يعدو التاريخ أن يكون: تتابع خصائص متنوعة حدثت في أزمنة مختلفة. تعبر كل خاصية عن حقيقة مفادها أن قيمة كمية فيزيائية ما تقع في منطقة (قيم) ما، عند لحظة زمنية ما، والتاريخ يسجلها فقط، ويكون اختيار الكميات الفيزيائية، ومناطق القيم، واللحظات الزمنية، اختيارا عشوائيا تقريبا.

مقارنة بخاصية مفردة، يملك التاريخ قدرة أكبر كثيرا على وصف ما يجري. ويمكننا القول إن التاريخ بالنسبة إلى خاصية منعزلة كالفيلم بالنسبة إلى اللقطة منفردة. ويثبت في النهاية أن تواريخ غريفيث قد تساعد كلغة لوصف الفيزياء كلها. نوع من لغة كونية شاملة تسمح لنا بالتحدث عن جميع الأحداث الفيزيائية من دون استثناء.

ينبغي ألا تكون التواريخ غامضة إلى هذا الحد، لأننا دائما ما كنا نستخدمها لوصف تجارب ومواقف أخرى في الفيزياء. هاك مثال لهذه النقطة المهمة، وسيكون من السهل إيجاد أمثلة أخرى عديدة. فيزيائي يخبر



آخر عن إحدى تجاربه هكذا: «يخرج نيوترون من مفاعل نووي خلال فتحة في الجدار المصفح، ثم يعبر بلورة سيليكون، ويخرج (بعد حيود) بسرعة تعتمد على اتجاهه؛ عندئذٍ يتم اختيار السرعة بإجبار النيوترون على اتخاذ مسار خلال نافذة ضيقة؛ وبعد ذلك يرتطم بنواة في أثناء انتقاله خلال كتلة من اليورانيوم؛ وينتج عن التصادم انشطار النواة التي تتفتت إلى عدة قطع؛ إحداها تكون نواة زينون تدخل أخيرا إلى نطاق كشف العداد».

ذلك تاريخ يستطيع باحث نظري أن يعيد صياغته باستخدام مؤثرات الإسقاط ليضعه في صورة غريفيث المثالية، بعد تحديد زمن كل حدث. وفي هذه الصورة يفهمه الملاك بوضوح تماما مثلما نفهمه نحن.

دور الاحتمالات

لا بد من أن القارئ قد لاحظ أن الاحتمالات الكوانتية لم يتم إدخالها بعد في تعليم أوليات العالم الذي يطالعه ملاكنا. ربما يبدو هذا مثيرا للدهشة، خاصة إذا ما أعطيت هذه الاحتمالات وظيفتها السائدة. سوف نراها الآن تدخل الصورة بطريقة غير متوقعة تماما، ليس باعتبارها مقياسا للمصادفة، ولكن من حيث إنها أداة لإكمال المنطق وإكسابه معنى متسقا. والحقيقة أنه بفضل الاحتمالات نستطيع أن نقنع أنفسنا بأن بعض التواريخ لها معنى وبعضها الآخر بلا معنى، وهناك من بينها ما يقوم بتعريف التكافؤ واللزوم المنطقيين في عالم الكوانتم. وبهذا تقبع الاحتمالات في موقع اللب من النظرية، ويمتد دورها إلى أبعد من مجرد وصف المصادفة.

هذه نتيجة ناجمة عن بنيتها الرياضية الصورية التي يعرفها الملاك ويقبلها، والتي يجب أن نتعامل معها كما يفعل الرياضياتي، من دون أدنى اعتبار للتطبيقات العملية. بالنسبة إلى الرياضياتي، الاحتمالات مجرد أعداد تميز أحداثا (في حالتنا، خصائص أو تواريخ). تُكوِّن تلك الأحداث عائلة كاملة (من حيث إنها استبعادية exclusive بالتبادل وتغطي كل الاحتمالات). تخضع الاحتمالات لثلاثة شروط فقط: هي أعداد موجبة، ويمكن جمعها إذا كان حادثان استبعاديين تبادليا (يسمى هذا شرط الجمعية additivity)، ويكون حاصل جمعها الكلي مساويا للواحد.



افترض غريفيث، لإكساب هذه التواريخ شيئا من المادة الجوهرية، أن لكل منها احتمالا معينا. يبدو هذا الفرض معقولا تماما في حالة التجربة النووية التي سبق وصفها. ففي حقيقة الأمر، ربما لم يخرج النيوترون من المفاعل، أو يكون قد ضل طريقه إلى النافذة، أو فشل في اجتياز كتلة اليورانيوم، أو، حتى لو تم هذا، لا يحدث تفاعل. افترض غريفيث صيغة رياضية صريحة لحساب احتمال تاريخ ما، وهي صيغة اكتشف في ما بعد أنها تنبثق من بعض الاعتبارات المنطقية البسيطة.

لاحظ غريفيث عندئذٍ أن شرط الجمعية بالنسبة إلى الاحتمالات يقيد اعتباريا الفئة التي تضم كل التواريخ الممكن تصورها، يُعبّر عن هذا الشرط بمعادلة رياضية تشتمل على مؤثرات [عوامل] إسقاط الخصائص المتنوعة التي تحدث في التاريخ، وهي معادلة صريحة يمكن اختبار صحتها بالحساب. أطلق غريفيث وصف الاتساق على تلك التواريخ التي تحقق شرط الجمعية additivity. مثال ذلك، التاريخ المرتبط بتجربتنا النووية ينتمي إلى عائلة متسقة، واحتمالية محددة تماما ومرضية بصورة كاملة من وجهة النظر الرياضياتية.

لمساعدة القارئ على فهم تصور التاريخ المتسق consistent history، سوف نطرح مثالا معارضا أكثر إثارة للدهشة، ينشأ عن ظواهر التداخل التي تكون الاحتمالات فيها غير جمعية. سيكون كالتالي: يخرج فوتون من مقياس تداخل ويرتطم بشاشة، نستطيع وصف الارتطام عن طريق تخيل أن الشاشة قد قُسمت إلى مناطق صغيرة (يمكن أن تتكون كل منطقة، مثلا، من حبيبة منفردة في مستحلب فوتوغرافي) (*). بهذه الطريقة يكون لدينا تواريخ مختلفة عديدة بعدد مناطق الشاشة، ولا شيء يمنعنا من تعيين احتمالية كل من هذه التواريخ. يتضح بالإثبات أن هذه الاحتمالات جمعية additive ومقبولة تماما. وتكشف قيمها، المحسوبة طبقا للنظرية، بوضوح عن وجود هدب تداخل.

تصبح الأشياء أكثر براعة وأهمية إذا حاولنا تحديد مسار الفوتون قبل ارتطامه بالشاشة. يمكن اختيار اللحظة التي عندها تكون الدالة الموجية المشتقة من معادلة شرودنغر مُكوّنة من جزأين، كل جزء متموضع في ذراع

(*) المستحلب الفوتوغرافي photographic emulsion معلّق من مادة حساسة للضوء (مثل هاليدات الفضة في جيلاتين) مرسب على مادة حاملة كالزجاج أو البلاستيك [المترجمان].



مختلفة لمقياس التداخل. سوف نقوم الآن بإثراء التواريخ السابقة عن طريق تحديد ما إذا كان الفوتون موجودا في تلك الذراع أو الأخرى عند هذا الزمن المحدد. عند هذه النقطة، يفصح الاهتمام الحقيقي اللافت بشروط غريفيث الجمعية عن نفسه، لأنه يستحيل تحقيقها. من دون جمعية لا توجد احتمالات ولا يوجد معنى. ومن ثم فإن النص على أن الفوتون قد سلك مسارا معينا مفضلا إياه على آخر يعطي جملة بلا معنى، على الرغم من عاداتنا في التفكير، وهذا يدعو إلى الاحتجاج والمجاهرة بأن شيئا ما هنا خاطئ أو ناقص.

إن هذه نتيجة رائعة وجديرة بالملاحظة، لأنها توحي بأن بعض التواريخ يكون لها معنى والبعض الآخر لا معنى لها. على الأقل إذا ما اتفقنا على أن التواريخ التي نستطيع أن نحدد لها احتمالا هي فقط التي لها معنى. ولكن أي معنى؟ هذا ما سوف نراه الآن.

منطق عالم الكوانتم

أهم سمة تميز البنية التفسيرية التي طرحها غريفيث هي أنها تمنح فيزياء الكوانتم تركيبا منطقيا خاصا بها. كما حاولت أن أوضح من قبل. إنها تحديدا السمة التي تسمح لنا بالانتقال من نظرية صورية خالصة إلى شيء ما نستطيع التحدث عنه باستخدام كلمات عادية، وفوق كل هذا، شيء ما نستطيع أن نتعقله ونستدل عليه بصورة دقيقة وطبيعية. وكما نعلم فعلا، يتطلب التعقل والاستدلال منطقا مكتملا وصائبا، بدءا من نطاق القضايا حيث نستطيع أن نقول: «لا»، «و»، «أو»، «إذا ...، إذن».

نطاق القضايا المناسب لوصف منظومة كوانتية يشمل عائلة تواريخ تحقق شروط غريفيث الجمعية (عائلة متسقة consistent family)، بحيث يمكن تعيين احتمالات للتواريخ. عندئذ تكون العمليات المنطقية «لا»، «و»، «أو» واضحة تماما، كقولنا: «لا يكون الإلكترون موجودا هناك عند تلك اللحظة»، «إن بإمكانه أن يسلك هذا الطريق أو ذاك»، «لقد سار خلال قناة في جدار المفاعل وبعد ذلك خلال النافذة». الشرط الأخير لمنطق صائب سوف يتحقق إذا ما استطعنا إيجاد تعريف مقبول للزوم المنطقي، وهو الشرط الحاسم «إذا ...، إذن» الذي يمثل المرتكز وحجر الزاوية للمنطق ومن دونه يكون الاستدلال مستحيلا.



ها هي الطريقة التي يمكن أن نقدمه بها: داخل عائلتنا المتسقة للتواريخ تكون الاحتمالات غير معيبة في وجهة النظر الرياضية، وتكون جمعية تحديدا. عندئذ نستطيع أن نستعير من نظرية الاحتمالات الكلاسيكية مفهوم الاحتمال المشروط. وهذا، حسب التعريف، هو احتمال حدوث حدث b بفرض أن حدثا آخر a قد حدث بالفعل. هذا ما كان يدور في خلد دون جوان عندما تساءل: ما هو احتمال أن تكون الفتاة القادمة التي أقابلها شقراء، مفترضا - بالطبع - أنها حسناء؟ مثل هذا الاحتمال المشروط الذي يكتب على الصورة p (b/a)، يعرف رياضيا بأنه حاصل قسمة احتمالين: هما احتمال حدوث a وb معا (تكون الفتاة القادمة شقراء وحسناء) مقسوما على احتمال a (الفتاة القادمة حسناء بصرف النظر عن لون شعرها). سنقول بمنطق لغة الكوانتم أن a تستلزم b إذا كان الاحتمال المشروط p (b/a) مساويا للواحد. مع المجازفة بتكرار نفسي، دعني أقل بإصرار: إدخال الاحتمالات يساعد على التعقل والاستدلال، ومن ثم يكون فعل التعقل والاستدلال ممكنا.

إن التكافؤ المنطقي لقضيتين a وb هو الآن لازمة منطقية مباشرة، حيث إنه يعادل القول إن a تستلزم b وأيضا b تستلزم a. ها هو ذا مثال غير عادي للتكافؤ المنطقي، حتى لو أننا الآن نعجل بالإشارة إلى نظرية قياس سوف نقدمها لاحقا. إذا وضع كاشف فوتونات خلف مستقطِب ضوء دائري، سوف نبين آن القضية المعبرة عن أن الكاشف قد سجل (قضية إمبيريقية تشمل الكاشف فقط) تكون مكافئة منطقيا لقضية أخرى تعبر عن قيمة مُركّبة لف الفوتون • photon's spin (أي التي توضح كيف يدور الفوتون)، وهي قضية تشير إلى العالم المجهري للفوتونات.

هذه المواضعات المنطقية (*) ليست اختيارية تحكمية. بشرط أن تطبق فقط على التواريخ المتسقة (التي لها احتمالات «جيدة»، أي تحقق شروط غريفيث). إن بديهيات المنطق، تلك التي قال بها أرسطو وكريسبوس، وصاغها

(*) المواضعات المنطقية هي ما تعارف الناس عليه، وعد أحد مقاييس الأخلاق، وأحد مبادئ العلم والمعرفة. ونظرية المواضعة المعروفة conventionalism أيضا باسم المذهب الاصطلاحي هي في المنطق اتجاه يرى البديهيات والحقائق الأولية أو صدق القضايا الرياضية والمنطقية أمرا متعارفا عليه لغة ووضعا (اصطلاحا)، ومن ثم ليست له صفة الإطلاق. ينبثق هذا عن الاتجاه الأداتي في فلسفة العلوم المقابل للاتجاه الواقعي. ومن أعظم أئمة الأداتية والاصطلاحية في فلسفة العلوم الرياضياتي فيلسوف العلم الفرنسي الكبير هنري بوانكاريه، وأيضا بيير دوهيم وبريدغمان وآخرون. هذا بالإضافة إلى أن بعض أقطاب الاتجاه الآخر المقابل في فلسفة العلم، أي الاتجاه الواقعي، قد يأخذون في بعض المواقع الجزئية بالاتجاه المواضعاتي في التعامل مع هذه القضية أو تلك لسبب أو لآخر. انظر في التعريف بالأداتية في فلسفة العلم: يمنى الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، سلسلة عالم المعرفة، الكويت، ٢٠٠٠ . ص ٣٠٥ - ٣٢٥ [المترجمان].



بعد ذلك بول وفريفه، تكون عندئذ متحققة تماما. وهكذا أزيلت الآن العقبة الرئيسية التي واجهت بيرخهوف وفون نيومان في التعامل مع قضايا المنطق، وها قد عاد أرسطو. الحس المشترك سيتبع باختصار.

التتام

مما يؤسف له أن عودة المنطق المحسوس لا تستلزم عودة الحس المشترك أيضا، لأن عالم الكوانتم لايزال مملوءا بالتفاصيل الدقيقة. في واقع الأمر، يمكن وصف منظومة كوانتية معينة بالعديد من عائلات التواريخ المختلفة. في التجربة المعروضة سابقا، على سبيل المثال، نستطيع أن نحدد سرعة النيوترون بدلا من موضعه في لحظة معينة. واعتمادا على اختيارنا سيكون لدينا نطاقان مختلفان من القضايا (أو من التواريخ)، منطقان مختلفان لا يمكن إدراجهما في منطق آخر أكبر ومتسق.

كان بور على دراية فعلا بهذه الحقيقة المميزة، بل وأكثر من هذا رفعها إلى مستوى المبدأ: التتام complementarity، أحد أعمدة ميكانيكا الكوانتم. وعلى أرض الواقع، كان يشير إلى المعرفة المكتسبة باستخدام وسيلتين تجريبيتين مختلفتين. مثال ذلك، إذا سببت بلورة سيليكون حيودا لنيوترون، فإنه يجب علينا عندئذ، طبقا لنظرية بور، أن نتحدث عن النيوترون بوصفه موجة، بينما نجد أن الكشف عنه بواسطة عداد يجبرنا على أن نفسره كجسيم. يوضح منطق الكوانتم أن تعددية التمثيل هذه لا تفرضها علينا الأجهزة الخارجية، لكنها في حقيقة الأمر أصيلة ومتضمنة في عالم الكوانتم، حتى لو ظلت غير ملاحَظة. وهي، علاوة على ذلك، ليست مبدأ جديدا، وإنما هي نتيجة مباشرة للمنطق، تم تعيينها هي ذاتها عن طريق القوانين الأخرى.

ليس هناك جديد في القول بوجود إطارات منطقية مختلفة نتحدث فيها عن الجسيم نفسه. وقد رأينا بالفعل أمثلة على ذلك في ما يتعلق بالزيجات الأحادية والتعددية. وكانت تحديدا مثل تعددية عوالم المقال التي حفزت المناطقة على إدخال مفهوم نطاق القضايا. الجديد هنا هو حقيقة مفادها أن هذا النوع من الدقة التفصيلية، التي عادة ما تكون ذات اعتبارية ضئيلة، أصبح الآن أساسيا للتحدث عن العالم المادي نتيجة لخاصية الكوانتم المميزة للقوانين.



إن وجود آلاف الطرق الممكنة للتحدث عن الجسيم نفسه، وكلها استبعادية تبادليا، ربما يؤدي، على نحو يمكن تصوره إلى تناقضات أو مفارقات داخلية. على سبيل المثال، ما الذي يجب عمله إذا كان الفرض أ يستلزم النتيجة ب، داخل منطق معين، بينما في منطق آخر، نجد أ يستلزم لا - ب؟ عندئذٍ لن يكون لدينا اختيار إلا التخلي عن المنطق تماما - وأن نلعنه. لحسن الحظ، يمكن توضيح أن مثل هذا الحادث المأساوي لا يمكن أبدا أن يحدث في فيزياء الكوانتم، وأن أ يستلزم ب في كل منطق يكون للقضيتين فيه معنى: لا يمكن أن يكون هناك أي مفارقة أو تناقض داخلي في ميكانيكا الكوانتم. هذه نتيجة مذهلة بالنسبة إلى نطاق كان يُعتقد لفترة طويلة أن المفارقات كامنة في كل رجا من أرجائه.

قانون منطقي في الفيزياء

حتى لو كنا لانزال في العالم المجرد، لكن هناك علامات معينة تشير إلى علاقة أوثق بالواقع. وتسمح لنا لغة التواريخ بأن نصف عالم الكوانتم وأن نتعقله ونستدل عليه، بمصطلحات واضحة لنا مثلما هي واضحة لملاكنا. هذه اللغة تشبه تقريبا اللغة التي يستخدمها فيزيائي عندما يصف تجربة عملية بمصطلحات من وحي الخبرة البسيطة جدا، ومبنية على تصورات مرئية. بناء على ذلك يمكن للفيزيائي أن يقول: «لقد وصلت نواة زينون إلى الكاشف، إذن حدث انشطار، إذن ارتطم النيوترون بكتلة اليورانيوم، إذن مر خلال النافذة الثانية، إذن أستطيع أن أعين سرعته، وبهذا أستعيد كل المعطيات ذات الصلة من أجل دراسة تفصيلية للتجربة».

هذا التفسير، على الرغم من طبيعته الأولية، مبني على لزوم منطقي يمكن الحكم عليه الآن بصورة كاملة في كل مرة تُنطق فيها كلمة «إذن»، وهو يكشف عما هو لازم وضروري لفهم الفيزياء، كما أنه حدسي من وجهة نظرنا، في حين أنه صارم تماما ودقيق جدا بالنسبة إلى الملاك أو الرياضياتي. كل عبارة من العبارات التي تتلو الفرض الوحيد («لقد وصلت نواة زينون إلى الكاشف») مدعومة بحساب مؤصل على مبادئ أساسية: يكفي التحقق من شروط غريفيث، وحساب الاحتمالات المشروطة التي تؤيد الاستلزامات المنطقية. وبناء على ذلك، وربما بطريقة غير متوقعة، يكون التجريد العنيف

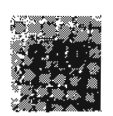


الذي كان علينا أن نقبله لتأكيد الاتساق المنطقي الكامل قد أدى إلى رؤية لعالم الكوانتم قريبة جدا من حدس الفيزيائي. وبالمناسبة، دعنا نضف أن مثل هذا لم تكن الحال مع التفسير التقليدي الذي قدمه بور، والذي كان أكثر بعدا عن الحدس بما لا يُقارن.

سوف نكمل الآن قائمة المبادئ الأساسية للنظرية بإضافة مبدأ جديد ذي طبيعة منطقية، يساعدنا على تأمل العالم، وليس مجرد حسابه: كل وصف لمنظومة فيزيائية يجب أن يتضمن قضايا تنتمي إلى منطق كوانتي وحيد ومتسق. وكل حجة متعلقة بالمنظومة يجب تعزيزها باستلزامات منطقية ممكنة الإيضاح والتأكيد. وينبغي إيضاح أن مثل هذا المبدأ متأصل في أعماق الفيزياء ولا يعتمد على وجود أي ملاحِظ، ووجود الملاحظ أمر تصادفي تماما، إن لم يكن غير ذي صلة بالموضوع، على عكس ما كان معتقدا لفترة طويلة.

بفضل هذا المبدأ الجديد يستطيع الملاك أن يفكر مثلنا، أو بالأحرى أفضل منا، لأنه يعرف جيدا ما هو المسموح بالتفكير فيه، بالنسبة إلينا هذه القاعدة تتيح لنا أن نفكر بمصطلحات موضوعية من دون أن نحلم بأن المنطق ما هو إلا بدعة من تخيلنا. إن أهم فكرتين يجب تذكرهما هما: أولا أن المنطق له مصدره من قوانين الطبيعة، وثانيا أن منطق الأشياء هذا لا يمكن أن ينفصل عن وجود احتمالات، وفي النهاية، عن الوجود الضروري للمصادفة. وعلى هذا الأساس الجديد، المبني كلية من المبادئ الأولى سوف نشيد الآن بشكل جديد كلا من الحس المشترك والتصور الحدسي للعالم.





10

إعادة اكتشاف الحس المشترك

مهمتنا التالية لن تتضمن شيئا أقل من إعادة اكتشاف الرؤية اليومية للعالم، كما انكشفت لنا عن طريق الحس المشترك والحدس المرئي. سوف نبدأ هذه المرة من القوانين الأساسية للطبيعة، التي هي في النهاية ذات خاصية كوانتية، ومن ثم صورية. ونظرا إلى أننا نقبل أن ينفرد الاتساق المنطقي بتوجيهنا، فإن مقاربتنا سوف تكون استنباطية تماما، وسوف تكون مبنية استثنائيا على مبادئ ميكانيكا الكوانتم، لاسيما أن المبدأ المنطقي المنصوص عليه في نهاية الفصل السابق سوف يؤدي دورا حاسما. إن ما سوف ننجزه لن يقتصر على إعادة اكتشاف الحس المشترك. بل إعادة اكتشاف شيء ما أكثر تشذيبا واستنارة، يخبرنا بدقة متى يمكن الثقة بالحس المشترك، ومتى يمكن أن يضللنا، ولو قليلا.

«... لكي نتخيل أن الحس المشترك هو مجرد نتيجة لقوانين طبيعية، وأن هذه القوانين لها بنيتها المنطقية الخاصة، فإن هذا يعتبر انقلابا وانعكاسا كاملين لأنماطنا المعتادة في التفكير»

المؤلف

العالم على نطاق واسع

مادمنا قررنا أن نعوّل فقط على مبادئ نظرية الكوانتم، فسوف يكون من الملائم أن نبحث مرة ثانية عن مساعدة ملاكنا الوديع، الذي لايزال يحاول أن يفهم كيف يتسنى لنا نحن البشر أن نرى العالم.



نطاق هذا العالم البشري كبيرا جدا مقارنة بعالم الجسيمات، وتبدو لنا الذرات بالغة الصغر، بل متناهية الصغر في حقيقة الأمر لدرجة أننا لا نستطيع رؤيتها. لهذا ينبغي علينا أن نأخذ في الاعتبار الأجسام المرئية التي هي في متناول حواسنا، أي الأجسام العيانية [الماكروسكوبية]، وهو منظومات فيزيائية مؤلفة من أعداد كبيرة من الجسيمات، كل شيء يستطيع الإنسان رؤيته أو لمسه ليؤثر في حدسه ينتمي إلى هذا العالم: تراب وأشجار وأحجار وآلات وكل الطرق المؤدية إلى الشمس وما وراءها؛ باختصار، نطاق الفيزياء الكلاسيكية بأسره.

دعنا نلاحظ أولا أن مفهوم جسيم، المباشر جدا، والأولي بالنسبة إلى الحس المشترك، ليس واضحا على الإطلاق من منظور فيزياء الكوانتم، ولهذا فإنه محير ومريك بالنسبة إلى ملاكنا. إن المنظومة الفيزيائية بالنسبة إليه عبارة عن تجمّع من جسيمات تأثراتها المتبادلة معروفة، هي في العادة فئة من الأنوية والإلكترونات. إذا اعتبرنا من هذا المنظور جسما عاديا، قارورة فارغة مثلا، فإن مبادئ الكوانتم لن تأخذ في الحسبان سوى الجسيمات المكونة للقارورة، لهذا فإنها سوف تعامل حشدا من أجسام مختلفة على قدم المساواة، يُعزى هذا إلى حقيقة مفادها أن الذرات التي تكوّن القارورة تتخذ، من دون تغيير تأثراتها، آلاف الأشكال التي تكوّن آلاف الأجسام المختلفة: قارورتين صغيرتين أو ستة أقداح نبيذ، أو كتلة من زجاج منصهر. يستطيع المرء أيضا أن يفصل الذرات وفق نوعها وينتهي إلى كومة من الرمل وكومة أخرى من الملح. إن إعادة ترتيب البروتونات والإلكترونات لكي تتحول الأنوية الذرية دون تعديل لطبيعة تأثيراتها المتبادلة يمكنها أيضا أن تنتج ماسة على شكل وردة في كأس من الذهب. كل هذه البدائل تنتمي إلى عالم الممكن، عالم وفرة الأشكال التي يمكن أن تتخذها الدوال الموجية لمنظومة معينة من الجسيمات (*).

طبعا، الأجسام يمكن أيضا تعريفها في ميكانيكا الكوانتم، وكل جسم في حقيقة الأمر يناظر مجموعة معينة من الدوال الموجية التي يستطيع الحاسوب البشري الذي لا يكل ولا يمل أن يعينها ويحددها

(*) تمكن علماء التعدين حاليا من الحصول على الماس بإعادة ترتيب ذرات الكربون في الجرافيت، كما تمكنوا من تحضير جزيء الكربون العملاق والحصول على مادة الفولرين الواعدة ذات التطبيقات الواعدة في مجالات تكنولوجيا النانو. راجع: د. أحمد فؤاد باشا، مستقبليات الفيزياء في عالم متغير، دار الرشاد، القاهرة، ٢٠٠٨ [المترجمان].



تماما. لهذا يستطيع ملاكنا أن يستوعب هذا المفهوم عن الجسم، بل إنه قد يستطيع تقدير خاصيته الغامضة أفضل مما نفعل (هل لاتزال القارورة التي تحتوي على ذرتين تعتبر فارغة؟). ومع ذلك، لا يزال الملاك بعيدا عن فهم الوصف الكلاسيكي لجسم ما. لا يزال موضع البندول وعقربا الساعة، بالنسبة إلى الملاك، عاملَ إجراء [مؤثرا] رياضيا. والطبيعة الكوانتية للكميات الفيزيائية لم تغير شيئا، إلا أن بعض هذه الكميات، التي يمكن أن ندعوها كلاسيكية، تم تمييزها من بين عدد لا يحصى من الكميات التي تصف الذرات، المركبات الأساسية للمادة وللأجسام. بهذه الرطانة الفيزيائية، الكميات الأولى القابلة للملاحظة والتي يمكن بعد تحليل أن تصبح كلاسيكية تدعى كميات فيزيائية تجميعية collective، ويقال للأخرى إنها مجهرية [ميكروسكوبية]. وبهذا تكون مواضع البندول أو عقربي الساعة متغيرات تجميعية، مثل كل تلك التي تحدث في الفيزياء الكلاسيكية. وعلى غرار ذلك يمكن تعريف القابلات للملاحظة التجميعية للسرعة، لكنها ليست تبادلية مع إحداثيات الموضع. لا يزال أمامنا طريق طويل علينا أن نقطعه قبل إعادة ضم التمثلات العينية للأشياء كما هي عند نيوتن أو عند المهندس، ولكن لكي نفعل ذلك ونشاركهما رؤيتهما الصريحة للعالم، يجب أن يتعلم الملاك شيئا آخر.

منطق الحس المشترك

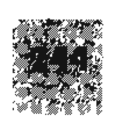
رئيس الملائكة، الذي يلقن الملاك الصغير أسرار العالم الأرضي التي هي محطة وصولنا الأخيرة، بدأ بتعريف الجسيم بأنه مجموعة دوال موجية. هو إذن يوضح له كيف يحصل من المبادئ الأولى للنظرية على القابلات للملاحظة التجميعية التي تصف الجسم (هذا أكثر مما نستطيع نحن البشر أن نفعله في الوقت الحالي، على أن البحث في هذا المجال يتطور بسرعة). إذن بالنسبة إلى الملاك، يصبح البندول كرة معدنية متصلة بسلك معدني (الملاك على دراية بالنظرية الكوانتية للفلزات). تبين الدالة الموجية أن الذرات تكوّن كرة لها نصف قطر معين، وأن شيئا ما مماثلا يحدد شكل السلك.



بعد ذلك، يوضح رئيس الملائكة أن البشر يفضلون التركيز على أكثر سمات الأجسام خشونة، بدلا من أن يأخذوا في الاعتبار بنيتها الداخلية الثرية. يُعزى هذا إلى عيوب في حواسهم. يرد الملاك: «إنهم حكماء إذ يفعلون هذا. وأنا راغب في أن أفعل مثلهم ولا أستبقي من الدالة الموجية للبندول إلا اعتمادها على إحداثيات مركز الكرة، وأهمل كل ما عدا ذلك».

عند هذه النقطة يساعد رئيس الملائكة الملاك الصغير من خلال الانتقال الحاسم من عالم الكوانتم إلى العالم الكلاسيكي. يبدو أن كل شيء يفصل بين هاتين الرؤيتين للواقع: من ناحية نحن لدينا دوال موجية، وكميات فيزيائية عبارة عن مؤثرات، وديناميكا محكومة بمعادلات شرودنغر؛ ومن ناحية أخرى، لدينا متغيران للموضع وللسرعة عبارة عن عددين عاديين، والديناميكا النيوتنية. كيف يتسنى الانتقال من إحدى الرؤيتين إلى الأخرى؟ هذا ممكن ولكن ليس من دون بعض الوسائل الرياضية الفعالة، يجب أن نسلم بذلك. هذا هو السبب في أن الرياضيين منذ نهاية ستينيات القرن الماضي قد طوروا فرعا جديدا كاملا من فروع التحليل (يسمى التحليل الموضعي الدقيق microlocal analysis أو حساب التفاضل الزائف pseudodifferential calculus) يُعزى إليه الفضل في أن عامل إجراء ما يؤثر في دوال موجية لبندول يمكن أن يكون مصحوبا بدالة متغيريْ الموضع والسرعة الكلاسيكيين. مثل هذه الدالة تسمى رمز المؤثر [عامل الإجراء]. بمثل هذه الطريقة يمكن إنشاء قاموس لترجمة عدد هائل من الكلمات الكوانتية إلى مصطلحات كلاسيكية. وبقليل من الممارسة سرعان ما يصبح الملاك ملما بهذه اللغة الكلاسيكية.

والآن قد يستطيع رئيس الملائكة أن يفسر للملاك الصغير ماذا يقصد بالقضية في الكينِماتيكا الكلاسيكية، مثلما فعلنا في الفصل السابق (أساسيا، تعادل اعتبار خلية في مكان إحداثيات الموضع والسرعة الكلاسيكية). يبدي الملاك الصغير ملاحظته قائلا: «ليس لدي اعتراض على التحدث عن هذه الأشياء على سبيل المزاح، لكن هذا كله لا يعني شيئا في واقع الأمر، لأنك أخبرتني بأن الخصائص التي تسمح



بها المبادئ الأولية هي تلك التي يمكن أن تكون مصحوبة بمؤثر كوانتي، وما تخبرني به الآن مختلف تماما». عندئذ كشف رئيس الملائكة له عن مبرهنة توضح كيف يرتبط مؤثر كوانتي بمنطقة كلاسيكية كتلك التي سبق بيانها، بشرط أن تكون المنطقة كبيرة بدرجة كافية (مقارنة بثابت بلانك) وأن يكون حدها منتظما.

بعد أن تعرف ملاكنا على المبرهنة ومحصلاتها، هتف قائلا: «هذا شيء فائق غير عادي. هذه النتيجة تبين بوضوح أن ما أخبرتني به بخصوص القضايا الكلاسيكية يعادل القضية الكوانتية، على أن المرء يجب أن يأخذ حذره من ألا يصوغ عبارات مفرطة الحذق والبراعة وهي يمكن التعبير عنها بمصطلحات كلاسيكية. وعندئذ يمكن التحدث باللغتين الكوانتية والكلاسيكية عن طريق ترجمة الأخيرة إلى الأولى. هل هذه هي الطريقة التي يفكر بها الإنسان؟».

يجيب رئيس الملائكة: «الحق أن لغتهم في العادة أقل تطورا وإتقانا، ولكن على الإجمال نعم. هذه هي في الأساس كيفية تصورهم للعالم وحديثهم عنه».

على الملاك الصغير أن يفهم بعد ذلك كيف يتم التوفيق بين الديناميكا الكوانتية لشرودنغر والميكانيكا الكلاسيكية لنيوتن. هنا مرة ثانية، يجب أن يلجأ الملاك الصغير إلى الرياضيات لينجز الترجمات اللازمة. وبصورة خاصة، عليه أن يتحقق من أن هذه العلاقة تقريبية فقط، بسبب حقيقة مفادها أننا مهتمون بالأجسام الكبيرة فقط، من دون أن نفحصها بدقة كافية عن كثب. بصورة تقريبية، يحدث أن تشوه مناطق المكان الذي تشغله إحداثيات الموضع والسرعة في أثناء الحركة النيوتنية الكلاسيكية. في الوقت نفسه، يحدث للمؤثرات الكوانتية التي تعبر عن الخصائص المناظرة أن تتطور على منوال مواز طبقا لمعادلة شرودنغر. ومع ذلك فإن التناظر بين المنطقة والخاصة الكوانتية يكون محفوظا تقريبا (الأخطاء المتضمنة معروفة جيدا). يقول الملاك الصغير متحققا: «لكن عندئذ يمكن أن نخاطب التاريخ الخاص بجسم عياني [ماكروسكوبي] بلغة كلاسيكية دون انتهاك للمبادئ الكوانتية الأساسية! عليّ أن أمارس هذا وأتدرب عليه إذا كنت أريد أن أكون طلق اللسان وأنا أتحدث إلى البشر.



ملاكنا مقتنع الآن بأن التناظر موجود بين الخصائص الكلاسيكية والكوانتية. هذا التناظر محفوظ بمرور الزمن، على الأقل في معظم الحالات المهمة التي تنشأ في واقع الممارسة، بسبب الاتفاق المنسجم في التطورات الخاصة للديناميكا الكلاسيكية وديناميكا الكوانتم. إلا أن التناظر لا يدخلهما معا في الهوية ذاتها، وهو معرض لظروف معينة تجعله عرضة لأخطاء. وقد توصل الفيزيائي الهولندي باول إرنفست P. Ehrenfest في العام ١٩٢٧ إلى النتيجة الأولى في هذا الاتجاه. وكان بور قد سبق إلى طرح «مبدأ التناظر» correspondence principle (*) الذي يعبر عن الاتفاق المتوقع بين الديناميكاتين بمصطلحات لا تزال يكتنفها الغموض. وكما هي الحال غالبا في تاريخ ميكانيكا الكوانتم، فإن المبدأ قد سبق مبرهنة، والآن اندمج مبدأ التناظر لبور في إطار منطقي اتخذناه بفضل طرق رياضية أكثر تقدما.

لكي نستوعب أننا في حضرة تناظر وليس اتفاقا كاملا، دعنا نفحص بعض حدوده. على سبيل المثال، لا يكفي لجسم ما أن يكون كبيرا لكي يسلك سلوكا كلاسيكيا. على وجه الخصوص، هناك أجسام حركتها شواشية (اضطراب جوي، مثلا) ويكون التناظر بالنسبة إليها مشوشا بشدة. حركة مثل هذه الأنظمة تؤدي إلى تشوه شديد للخلايا الكلاسيكية، ومن ثم لا يدوم التناظر بين الفيزياء الكلاسيكية والكوانتية إلا لفترة زمنية محدودة. على رغم ذلك، فإن الأغلبية الهائلة من الجسيمات الموجودة على الأرض أو في السماء تبين تناظرا جيدا بين القوانين الأساسية للنطاق الكوانتي والقوانين الكلاسيكية للعالم الرحيب الذي نعيش فيه.

(*) مبدأ التناظر correspondence principle قاعدة فيزيائية مؤداها ببساطة أنه عندما تكون لنظام ذري أعداد كوانتية عالية القيمة تكون نتائج نظرية الكوانتم لهذا النظام موافقة لنتائج الفيزياء الكلاسيكية. هذا هو معناها في الفيزياء.

أما في الفلسفة فإن مصطلح نظرية التناظر theory of correspondence يفيد معيارا من معايير الحكم على صدق العبارة، فتكون العبارة صادقة إذا تناظرت مع الواقع. هذا المعنى الفلسفي سبق ذكره وشرحه، لأن المؤلف يأخذ بهذا المعيار للحكم على صدق القضايا. والواقع أن التناظر كمحك أو معيار للصدق، إنما يكاد يكون الموقف الرسمي المعتمد في كل الاتجاهات التجريبية في المعرفة، مثلما نجد أن نظرية أو معيار التساوق coherence هو المحك المعتمد بين معظم التيارات المثالية. ويمكن القول إن النظرة المتبصرة هي التكامل بين المعايير المختلفة للصدق، من تناظر وتساوق وإمكان الإقرار.. انظر في تفصيل هذا الفصل الثاني في كتاب: «وليم جيمس إيرل، مدخل إلى الفلسفة، ترجمة د. عادل مصطفى، مراجعة د. يمنى الخولي، المشروع القومي للترجمة، القاهرة، ٢٠٠٥ [المترجمان].



لنستمع إلى الملاك لمرة أخيرة: «أنا مبتهج وأتيه فرحا لأنني أفهم الآن كيف يصف الإنسان العالم، وأيضا كيف يراه وهو يتطور. يا لها من سعادة سوف تغمر بني البشر، إذا فهموا أيضا، إلى جانب الرؤية، حقيقة ما يرونه».

«لكنهم يفهمون!»

«ماذا تقصد؟ لقد أكدت لي أن الطريقة الوحيدة المحسوسة لوصف العالم كانت في حدود تواريخ ذات منطق كوانتي متسق. وقد وضعت هذا في مبدأ وأقنعتني بأن المرء يستطيع أن يعقل ويستدل فقط باستخدام الاستلزامات المنطقية التي يمكن التدليل عليها. وحتى الآن أوضحت لي فقط كيف يصف البشر العالم. لكني لا أرى الصلة التي تربط التواريخ المتسقة بالمنطق الكوانتي، ولا أعرف كيف يستطيعون الاستدلال بطريقة محسوسة، متوافقة مع المبادئ الأولى».

«يفعل البشر ذلك باستخدام ما يسمونه الحس المشترك. إنه نوع من المنطق المناسب جدا للعالم الذي يعيشون فيه. إن الطريقة التي يتحدثون بها عن العالم وتمثلاتهم الذهنية له ليست حاسمة تماما، ولكنها مع ذلك هي التمثيل نفسه الذي تطرحه النظرية، أو بالأحرى هي نتيجة محصلة مباشرة للنظرية ويمكن التدليل عليها وتبيانها demonstrated، وهي صحيحة تماما داخل مجال تطبيقها، تطرح النظرية تمثيلا صوريا خالصا، في حين يستخدم البشر تمثيلا إمبيريقيا منبثقا مباشرة من الممارسة والخبرة العملية.

«عندما يرى البشر الأجسام حولهم يستطيعون تعيين مواضعها وسرعاتها من خلال استخدام حواسهم. لكن هذه الحواس لا تكفي بدرجة دقيقة لتقدير مظاهر التأثيرات الكوانتية، ولهذا فإن ما يدركه البشر قابل لأن يعبر عنه بصورة كاملة بواسطة القضايا الكلاسيكية. جملة القول إن الاستدلال الرياضي للقضايا في الفيزياء الكلاسيكية من المبادئ الكوانتية يزودنا بصورة أمينة للطريقة التي يدرك بها البشر عالمهم العادي وتمثلهم الذهني له».

ويواصل رئيس الملائكة الحديث قائلا: «عندما يستدل الحس المشترك عن طريق القول إذا...، إذن، فإن ما يحدث هو الآتي: البشر يعتبرون ذهنيا خلية في مكان إحداثيات الموضع والسرعة، وتُقدِّر هذه الخلية، ولو بصورة



غير كاملة، بواسطة عقولهم. وهم كذلك ينشئون بشكل غريزي (أي بعيدا عن العرف والعادة) صورة ذهنية لخلية أخرى يمكن استنباطها من الأولى عن طريق حركة نيوتنية. هم يقولون الآن إنه إذا حدث الموقف الابتدائي الذي يناظر الخلية الأولى، فإن الموقف المناظر للخلية الثانية سوف يحدث بعد زمن معين: يقولون إنه عندما تسقط تفاحة من شجرة، فإنها سترتطم بالأرض تحتها مباشرة. وطبعا يعللون بمثل هذه الطريقة حالات أخرى كثيرة مشابهة، ولكن ما نأخذه هنا في اعتبارنا إنما يتصل بأصل رؤيتهم للعالم الفيزيائي».

يبدي الملاك الصغير ملاحظة: «أستطيع أن أفهم مما تقول كيف يعلل البشر ويستدلون باستخدام حسهم المشترك، وكيف يدققون هذا الاستدلال بمساعدة الفيزياء النيوتنية، لكني لست مقتنعا بأن استدلالهم صحيح. فقوانين العالم الحقيقية كوانتية، وأنت قد أخبرتني بأن المنطق الكوانتي المتسق فقط هو الذي يسمح لنا بأن نصف العالم وبأن نفسره على نحو سليم. الآن المنطق البشري للحس المشترك ليس من ذلك النوع على الإطلاق؛ ومن ثم فإن البشر لا يستطيعون إلا تعقلا واستدلالا ذا نقائص وأخطاء».

«كلا البتة! إن تعقلهم واستدلالهم صحيح. لقد أخبرتك بالفعل كيف يمكن ترجمة تقييمهم لموقف معين في حدود أو لغة عوامل الإسقاط الكوانتية، وكيف أن التغير في عوامل الإسقاط تلك يقترب من موازاة التطور الكلاسيكي للموقف. باستخدام هذا التناظر يمكن توضيح أن منطق الحس المشترك هو أيضا في واقع الأمر منطق التواريخ الكوانتية المتسقة، وأن حجج الحس المشترك هي في النهاية التعبير بالألفاظ عن الاستلزامات التي يمكن التدليل عليها في منطق الكوانتم. هذا التعريف لمنطق الحس المشترك بمنطق كوانتي خاص ليس كاملا بطبيعة الحال، هناك استثناءات له، واستلزاماته تقريبية فقط، لكن التقريب ممتاز في معظم الأحوال. بعبارة أخرى، احتمال أن يكون الحس المشترك خاطئا هو احتمال بالغ الضآلة ويمكن دائما إهماله من الناحية العملية، بما أنه يتعامل مع أجسام عيانية، ولا يدنو من عالم الأشياء اللامتناهية في الصغر».

«شكرا سيدي. بفضلك فهمت كيف يرى البشر عالمهم ويفكرون فيه بطريقتهم الخاصة، وهذا مناسب تماما للأشياء التي يستطيعون أن يدركوها على الفور. لقد أقنعتني بأن تمثلهم لذلك العالم وحسهم



المشترك حقيقيان ومنطقيان تماما - على الأقل من الناحية العملية طوال الوقت وعلى نطاق واسع بدرجة كافية - حتى لو كانت قوانين الواقع في النهاية كوانتية وصورية. إنني الآن مستعد لأن أهبط إلى الأرض وأقابل هؤلاء البشر من الرجال والنساء وقد علمتني أن أحترمهم. ألم تخبرني بأنهم اكتشفوا المبادئ التي تعلمتها منك؟ إذن البشر يدركون أيضا أن أنماط الاستدلال المستمدة من أسلافهم هي ثمار تلك القوانين».

الحتمية

الفائدة الجيدة للمقاربة التي عرضناها للتو هي توضيح العلاقة بين حتمية كلاسيكية واحتمالية [رجحانية] كوانتية. وكما سبق أن أشرنا. تتضمن الحتمية تكافؤا منطقيا بين قضايا كلاسيكية بالنسبة إلى لحظتين زمنيتين مختلفتين. في غياب الاحتكاك يظل هذا التكافؤ قائما في كلا الاتجاهين: من الحاضر إلى المستقبل (المعنى العادي للحتمية)، وأيضا من الحاضر إلى الماضي، مما يفضي إلى إمكان استعادة الماضي، وفي النهاية يكون الأساس لوجود ذاكرة. إن الأشياء ليست بسيطة إلى هذا الحد في حالة وجود احتكاك، ولكننا سوف نسقط هذه الحالة.

النقطة الأساسية التي تم استيعابها أخيرا فقط هي أن الحتمية الكلاسيكية نتيجة مباشرة لقوانين الكوانتم، على رغم الطبيعة الاحتمالية للأخيرة. التوفيق بين هاتين النظرتين المتناقضتين ظاهريا كان ممكنا فقط بعد أن فقدت الحتمية الكلاسيكية خاصيتها التجريدية، وأيضا توقفت عن أن تكون كونية شاملة. كل من هذين الجانبين له أهميته، من ثم فهما جديران بمزيد من الشرح والتوضيح.

الحتمية الكلاسيكية تقريبية فقط ويسهل فهمها ببعض الأمثلة. دعنا في البداية نأخذ في اعتبارنا فقط الحالة القصوى المتضمنة حركة الأرض. ما الذي يمكن أن يكون أكثر حتمية من حقيقة مفادها أن الشمس تشرق كل يوم؟ نحن نعلم أن الأرض تدور حول الشمس طبقا لقوانين كبلر. وهذه محصلة لمبادئ نيوتن، وأيضا مع تقريب جيد هي محصلة لمبادئ ميكانيكا الكوانتم. هذا هو مفهوم التقريب الجيد الذي نرغب في تدقيقه.



من المعلوم أن ميكانيكا الكوانتم تسمح بوجود «التأثيرات النفقية tunnel effect» التي بها يغير جسم حالته فجأة بسبب قفزة كوانتية، شيء ما لا يمكن حدوثه خلال انتقال كلاسيكي متصل. هناك أمثلة عديدة لهذه الظاهرة المعروفة في الفيزياء الذرية والكوانتية: بسبب ظاهرة النفق على وجه الدقة تضمحل نواة اليورانيوم تلقائيا (*)، ويمكن أن يقترب بروتونان أحدهما من الآخر عند مركز الشمس بدرجة تكفي لبدء تفاعل نووي.

حتى بالنسبة إلى جسم كبير مثل الأرض، فإنه يمكن أن يتعرض لتأثير نفقي، على الأقل من حيث المبدأ. بينما تعمل جاذبية الشمس على أن تمنع الأرض من الجنوح بعيدا خلال حركة متصلة ومستمرة، فإن كوكبنا على الرغم من ذلك، يمكن أن يجد نفسه فجأة يدور حول نجم الشُعرى من خلال تأثير النفق. إنها ستكون كارثة رهيبة للحتمية. لقد أوينا إلى الفراش ليلة أمس متوقعين أن تشرق الشمس في الصباح التالي، ومع ذلك نستيقظ لنرى نجما أكثر لمعانا، يهوي في أثناء الليل إلى كوكبة نجوم مجهولة.

إن نظرية تسمح بحدوث مثل هذه الأحداث يمكن أن تقض مضاجعنا. ولحسن الحظ، حتى لو لم تكن الحتمية تجريدية أو مطلقة، فإن احتمال انتهاكها ضئيل جدا. في الحالة التي نحن بصددها، احتمال أن تجنح الأرض بعيدا عن الشمس بالغ الضآلة لدرجة أن كتابته تتطلب ١٠ مرفوعة إلى الأس ١٠^٢٠٠ صفرا إلى يمين العلامة العشرية. ضآلة مثل هذا العدد تدهش الخيال، ولا يوجد حاسوب يستطيع تخزينه في صورة عشرية. إنه حدث لن يحدث أبدا على جميع المستويات العملية.

كلما تحركنا نحو أجسام أصغر وأصغر تزداد احتمالية تأثير النفق. فاحتمال أن تتحرك سيارة من المكان المخصص لها في ساحة انتظار إلى مكان انتظار أو وقوف آخر بواسطة التأثير النفقي هو احتمال ضئيل لدرجة مضحكة مثل احتمال هروب الأرض من جاذبية الشمس، وإن كان عدد الأصفار الآن أقل. عندما تتعطل سيارتي، أُفضّل ألا أحملها المسؤولية وألا ألقي باللوم على ميكانيكا الكوانتم، فالاحتمال لايزال ضئيلا جدا. والأولى أن أبحث عن سبب حتمي يتعرف عليه عامل ميكانيكا إصلاح السيارات على

(*) هذه ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي [المترجمان].



الفور. من ناحية ثانية، كلما نقترب من نطاق المقياس الذري تزداد الغرائب، وتلحق اللا حتمية الكوانتية بالحتمية الكلاسيكية وتتجاوزها في خاتمة المطاف. باختصار المسألة كلها متعلقة بمستوى المقياس. يوجد انتقال متصل وكوانتي للاحتمالات، من احتمالات بالغة الضآلة، إلى أخرى لا يمكن إهمالها في البداية ثم تسود بعد ذلك.

هناك سمة أخرى لهذه التأثيرات الممكنة نظريا لكنها بعيدة الاحتمال جدا أو غير متوقعة الحدوث، لهذه «التراوحات الكوانتية quantum fluctuations» التي تنتهك الحتمية، ألا وهي أنها لا يمكن إعادة توليدها أو إيجادها ثانية. لا يوجد تراوح كوانتي قابل للملاحظة على المستوى البشري كان من الممكن حدوثه منذ خلقت الأرض، لكن دعنا نتخيل أن تراوحا كوانتيا قد حدث وشاهده عدد من الناس: يرون صخرة تظهر فجأة في مكان مختلف. لقد رأوها حقيقة، لكنهم لا يستطيعون أبدا أن يقنعوا أي إنسان آخر، ولا أن يوضحوا أن الظاهرة يمكن أن تتكرر على نحو لا يقبل الرفض أو الجدل. كل ما يستطيعون قوله هو: «أقسم وأؤكد أن الصخرة كانت هناك على يساري، وفجأة ظهرت على يميني». سيقول البعض إنه مُسكر قوي جدا، ويعتقد آخرون أنها نوبة جنون غير حادة، والذين شاهدوا الحادثة أنفسهم سوف ينتهون إلى الاعتقاد بأنهم تعرضوا للإصابة بالهلوسة والهذيان.

وهكذا فإن الحتمية ليست مطلقة. قلنا أيضا إنها كفت عن أن تكون كونية شاملة، بمعنى سوف ندققه الآن. رأينا من قبل أن جميع الأنظمة الفيزيائية الكبيرة ليست بالضرورة حتمية - خذ في اعتبارك المنظومات الشواشية مثلا. الصلات بين الحتمية والمصادفة في حالة الأنظمة الشواشية معروفة جيدا الآن، وهي تشكل مجالا واسعا للدراسة التي تخرج عن مجال هذا الكتاب. سوف نقتصر على ذكر أن كلا من ميكانيكا الكوانتم والميكانيكا الكلاسيكية تعترف بأهمية الظواهر الشواشية الكلاسيكية التي تميز حدود التناظر الدقيق بين الوصف الكلاسيكي والوصف الكوانتي للعالم.

لايزال هناك شرط آخر ينبغي التطرق إليه قبل أن نستطيع الوثوق في الحتمية والحس المشترك. إنه يتصل بالحالة الابتدائية للمنظومة. ومن الأهمية بمكان أن تُحدَّد هذه الحالة باعتبارها خاصية كلاسيكية خالصة



يمكن أن تبنى عليها ديناميكا كلاسيكية. الآن توجد حالات، وهي بالمناسبة ليست نادرة جدا، لا يتحقق فيها هذا الشرط. وإليك هذا المثال. تخيل عداد غايغر معزولا في فراغ. هذا يمثل منظومة كبيرة يمكن وصفها بدقة بواسطة فيزياء كلاسيكية. الحتمية بسيطة في هذه الحالة على وجه الخصوص، لأنها تتوقع أن شيئا لن يحدث. إذا تخيلنا الآن نواة مشعة بداخل العداد، فإن الوصف الكلاسيكي للعداد يستحوذ كلية على الحالة الابتدائية للمنظومة (حيث المنظومة = العداد + النواة)، ويجب علينا أن نأخذ الدالة الموجية في الاعتبار صراحة. وبما أن القوانين الأساسية للفيزياء كوانتية. فإن الطبيعة الحتمية للمنظومة الجديدة لا تصح تماما. ذلك أن الدالة الموجية الكلية لمنظومة العداد والنواة تتطور تبعا لمعادلة شرودنغر. وحقيقة أن العداد في حد ذاته عبارة عن جسم غير مستقر، وحساس للتأثيرات الكهربائية الصغيرة، تجعل من المستحيل إثبات أن السلوك في هذه الحالة سيكون حتميا.

بعبارة أخرى، الطرق المستخدمة للتدليل على الحتمية تبين بدرجة متساوية وجود بعض حالات استثنائية لا تنطبق فيها الحتمية. وتنشأ أكثر هذه الحالات تكرارا عندما تجري القياسات على جسم مجهري كما في المثال السابق. هذه الحالة رئيسية لتفسير ميكانيكا الكوانتم، ولهذا السبب سوف نناقشها في الفصل التالي.

وعلى هذا النحو نجد أن الفيزياء الكلاسيكية والحس المشترك يتيحان لنا أن نفهم بصورة لائقة العالم الواسع المجال في حالة توافر شرط واحد: يجب ألا نعتبر المنظومات محتوية على أداة في عملية قياس جسم كوانتي، أو أي نبيطة أخرى على قدر من الحذق والبراعة. بطريقة أخرى، يجب أن نحصر أنفسنا فقط في المواقف التي عرفها الإنسان قبل اكتشاف النشاط الإشعاعي، في نهايات القرن التاسع عشر.

أول تقرير فلسفي

هناك نتيجة أساسية طالما ركزنا عليها مرارا وتكرارا: الحس المشترك يتكيف مع الطبيعة الكوانتية للقوانين التي تحكم العالم المادي، على الأقل في الظروف العادية وبالنسبة إلى أجسام عيانية على المقياس البشري (أو



حتى أقل)، في ما عدا بعض الظروف النادرة جدا. من الطبيعي أن الحس المشترك لا يستطيع بنفسه أن يحدد حدوده الخاصة للتطبيق، ولهذا السبب كان اكتشاف ميكانيكا الكوانتم مقلقا جدا، ولا نستطيع إلا أن نتمنى أن يكون هذا مجرد حالة مؤقتة.

ومع ذلك يصعب التقدير الكامل لكل المحصلات الفلسفية لهذه النتيجة. والحقيقة أنه لكي نتخيل أن الحس المشترك هو مجرد نتيجة لقوانين طبيعية، وأن هذه القوانين لها بنيتها المنطقية الخاصة، فإن هذا يعتبر انقلابا وانعكاسا كاملين لأنماطنا المعتادة في التفكير. ويصعب أيضا الاعتياد على مثل هذا التغير في المنظور، ونتائجه ليست سهلة الاستيعاب دائما. على رغم ذلك، فإننا نستطيع أن نستنتج بعض الدروس البسيطة التي لها علاقة مباشرة بنظرية المعرفة.

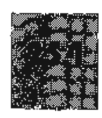
إن مقاربة معرفة الواقع بدءا من القوانين التي اكتشفها العلم يخالف الإبيستمولوجيا التقليدية (فهي في حقيقة الأمر على العكس تماما). ومثلما فعل بور، إلى حد ما، سوف نحاول أن نفيد من الفيزياء الكلاسيكية باعتبارها مرجعنا الوحيد، وباعتبارها أيضا المجال الوحيد الذي يمكن أن يطبق فيه المنطق والذي نستطيع أن نتحدث عنه بشرعية. في المقابل، العالم الكوانتي هو الذي يملك قواعده الخاصة به للوصف والاستنتاج انبثقت منها قوانين العالم الكلاسيكي.

إننا نرتاب في الطريقة التي اتبعها أناس كثيرون، وبخاصة جون بيل J. Bell الذي سعى إلى أن يفهم فيزياء الكوانتم من خلال الحس المشترك، حتى لو تطلب ذلك الارتفاع ببعض أوجه الحس المشترك إلى منزلة المبادئ الفلسفية (لهذه الأوجه أسماء متنوعة: «التموضع»، «القابلية للانفصال»، «العلية»، وهلم جرا). وثمة مقاربة معاكسة تماما وأثبتت أنها مثمرة، إنها تلك التي تقوم أسسها على المبادئ الراسخة للفيزياء التي توصل إليها أجيال من الباحثين بعد مشقة وعناء. نستنتج من تلك المبادئ الشكل السليم، ودرجة التقريب المثلى، ونطاق تطبيق الحس المشترك. وبهذا يعود الأخير إلى الظهور نقيا معززا، ولا يعود مسلما به من دون شك أو جدل وهو لهذا السبب الأخير دائما ما يكون غامضا ملغزا. وباقتصار الحس المشترك على التطبيق في حدود دائرته الخاصة فإنه يصبح صورة صحيحة لقوانين الواقع.



النتيجة السابقة تتحدى أيضا قواعد البحث الفلسفي. ولأنها توحي بأننا قد لا نحتاج إلى أن نؤسسها على تعميمات غير ملجمة لخبرتنا المباشرة التي شجبها بيكون، فإن جهود البحث المتأنية قد آتت أكلها في شكل مبادئ أعمق، معروفة بالسليقة، وقريبة من قلب الأشياء وجوهرها. على هذا النحو أُعيد تثمين الحس المشترك وحُددت تخومه، وأصبح من الممكن أن يُطبق على الكون ككل، ويكف بصورة خاصة عن أن يكون صحيحا بالنسبة إلى عالم اللا متناهيات في الصغر. غير مجدٍ بالنسبة إلى الحس المشترك أن يطلب بغير وجه حق فرض «مبادئ» فلسفية على المستوى الذري لا تعدو أن تكون تكريما مبالغا فيه واعتبارا مفرطا بدون مبرر لطبيعة تفكيرنا والتواءات لغتنا.





11

من القابل للقياس
إلى غير القابل للقياس

إن التوفيق بين الحس المشترك وميكانيكا الكوانتم لا يستنفد الدروس التي يمكن أن نستخلصها من ميكانيكا الكوانتم في ما يتصل بنظرية المعرفة. لقد رأينا كيف أن ميكانيكا الكوانتم قد أوصدت الباب في وجه الحس المشترك وحالت بينه وبين ظواهر العالم الذري، وسوف يؤدي هذا إلى رؤى أخرى. هناك مشكلة رئيسية تلوح في الخلفية: العلاقة بين النزعة الصورية والواقع، بين النظرية والطبيعة، ولسوف تظهر في النهاية بجلاء.

للتعامل مع المسائل المذكورة، نقترح منهاجا يرتكز فقط على مبادئ فيزياء الكوانتم، ولاسيما المبادئ المنطقية. سوف نسير على منوال استنباطي خال لضمان اتساق العمل، لكن ذلك لن يمنعنا من اكتشاف وجهات نظر معينة يفتقدها الفيزيائيون والفلاسفة حتى الآن.

«إن الموضوع بالغ الأهمية، إلى درجة أننا لهذه المناسبة سوف نتغلب على مقاومتنا لاستخدام براهين رياضية في هذا الكتاب»

المؤلف



مشكلة التداخلات العويصة

سبق أن عرضنا في الفصل السابق مثالا يوضح القياس الكوانتي، اشتمل على عداد غايغر الذي اكتشف ما إذا كانت النواة المشعة قد انبعث منها إلكترون أم لا. بحل معادلة شرودنغر للمنظومة الفيزيائية المعقدة المكونة من العداد والنواة المشعة، وبفرض نواة سليمة في البداية، نستطيع أن نحدد شكل الدالة الموجية بعد عشر دقائق، مثلا. تظهر هذه الدالة في صورة حاصل جمع حدين: الأول يمثل نواة لاتزال سليمة بكرا، مع العداد بقراءته عند الصفر، بينما يمثل الحد الثاني نواة متحللة وعدادا يظهر الرقم واحد ١ ليبين أن التحلل الإشعاعي قد اكتُشف.

نعلم أن الدالة الموجية التي هي حاصل جمع حدين تسمح، من حيث المبدأ، بأن تحدث تداخلات كوانتية بين الحالتين اللتين يمثلهما هذان الحدان.

ماذا يحدث في حالتنا هذه؟ من الصعوبة بمكان أن نتخيل تداخلات بين حالتين مختلفتين للعداد نفسه الذي تظهر شاشته رقمين مختلفين. يرفض خيالنا أن يؤدي وظيفته، لأن الواقع لم يواجهنا أبدا بمثل هذا الموقف. والأكثر من هذا أن ذلك النوع من عدم الاتفاق بين النظرية والخبرة يوحي بأنه إما أن المشكلة ليست على ما ظهرت عليه، وإما أن النظرية ذاتها غير جديرة بالثقة ولا يعول عليها. البديل الثاني يأخذنا إلى ما هو أبعد كثيرا: إذا لم توجد تداخلات، فما الذي تشبهه؟ هل تشبه صورتين متراكبتين؟ أم هل ربما تشبه منظرين خياليين متناقضين ومتداخلين كاللذين تثيرهما حمى متقدة؟ ونظرا لأن مثل هذا الارتعاش للواقع غير موجود، فإنه يلزم علينا أن نبلغ قراره وأن نسبر غوره.

كتب الكثير الجم عن هذه المشكلة، وأغلبه مطروح في صورة لافتة مثيرة للدهشة عرضها شرودنغر نفسه تحديدا، يستحق الإعادة حتى لو كان معروفا جيدا أو كنا ذكرناه بالفعل. قطة محبوسة داخل نبيطة شيطانية: مصدر مشع ينتج عن تحلله سم زعاف. تتوقع النظرية في صيغتها المباشرة أن الدالة الموجية للقطة بعد مرور بعض الوقت ستكون حالة موجتين متراكبتين: إحداهما تمثل احتمال مصدر غير نشط وقطة حية، والأخرى تمثل قطة مقتولة بسبب النشاط الإشعاعي للمصدر، الآن تنشأ أسئلة عديدة: هل نستطيع القول إن «القطة ميتة» و«القطة حية» حدثان منفصلان ليس بينهما



تداخل، أو ارتعاش؟ هل نحن متأكدون، من دون أدنى شك، من أن أحد الحدثين فقط هو الذي حدث، حتى إن كنا لا نستطيع من دون فتح الصندوق أن نعرف أيهما الذي حدث؟

يمكن أن نعطي مثالا آخر ولعله أكثر صراحة، لتوضيح طبيعة الصعوبات الضمنية الأساسية. تخيل أن رجلا اسمه ببين عاش في عصر شارلمان، وكان في أحد جدران منزله نواة مشعة مرعبة. لِتبسيط المثال افترض أن حدثين فقط قد حدثا. في الحالة الأولى، تحللت النواة عندما كان ببين في الثالثة من عمره، وتسببت في موته، وفي الحالة الثانية، كانت النواة لاتزال بكرا عندما مات ببين، متقدما في العمر، بعد أن أصبح لديه أطفال. كان من بين سلالة ببين نابليون بونابرت والبروفسور بابيلار المتخصص في ميكانيكا الكوانتم. يدرس هذا العالم أثر النواة الشهيرة ويكتشف تداخلات. ما الذي ينبغي أن يستنتجه؟ تكشف التداخلات عن بقاء مُركِّبة الدالة الموجية المناظرة لحالة ببين الذي مات وهو في الثالثة من عمره. وبناء على ذلك يكون هناك اليوم احتمال غير صفري لأن يكون ببين مات وهو طفل. عندئذ يبدأ البروفسور محاضرته على النحو التالي: «لقد أثبتُ أنه في الحالة الحاضرة للعالم، يوجد احتمال لا-صفري لأن تكون وفاة ببين قد حدثت عندما كان طفلا يرفل. لهذا يجب أن نعرف، على مضض، أن نابليون ربما لم يكن موجودا على الإطلاق، وأنني أنا نفسي لم أوجد أيضا، لأن احتمال هذين الحدثين كليهما لا - صفري».

نستطيع أن نرى أين تكمن الصعوبة، إذا كان بابيلار على صواب: لا توجد أبدا واقعة مؤكدة بصورة نهائية. إن صميم مفهوم الواقعة، وهو أساس كل علم، لا يتفق مع النظرية. وتقرير بابيلار اللا معقول لا ينطوي على شيء من المبالغة بأكثر من تأكيدات أولئك الذين يرون في فيزياء الكوانتم الأساس لنزعة شكية شاملة أو أضغاث أحلام بالغة الطيش. ويتحدث البعض عن كون مواز، ويعتبرون العالم الذي يكون فيه يوليوس قيصر أبا لكليوباترا عالما حقيقيًا مثًل عالمنا. يفترض آخرون أن حاصل جمع دالتين موجيتين يمكن تجزئته خلال وعي الإنسان فقط. ولايزال هناك آخرون يذهبون إلى أبعد من ذلك ويعكسون العملية: إذا كان وعينا يفصل الوقائع الممكنة، فإن العقل يستطيع أن يؤثر في المادة، ومن ثم تكون الباراسيكولوجيا مؤيدة نظريا. يوجد أيضا أولئك الذين يكون العلم بالنسبة إليهم مجموعة نظريات وقوانين مبهمة وغامضة تجعل كل

شيء ممكنا، حيث يصبح للماء ذاكرة والخمر فقط هي التي تمحو وتدمر. أما الأكثر حذرا وحيطة، فيتوارون خلف أوضاع يحسبونها محسوسة أكثر: الفيزياء مجرد اصطلاح متواضع عليه بين البشر، لا يستطيع أن ينفذ إلى الواقع (*)؛ دالة الموجة ما هي إلا تعبير عما أعرفه بالمصادفة. هل ينبغي أن نستأنف ونذكر أولئك الذين أقاموا على مثل هذه الجعجعة ولغير ما ضرورة، ليس فقط فلسفات، وإنما أيضا سيكولوجيا، بل حتى نظريات لاهوتية، تصطنع إلها يتأمل كل تلك الأكوان العديدة في خلقه المتأرجح؟

حاول بور دائما أن يحافظ بأي سعر على الخاصة الموضوعية للعلم التي ساعد كثيرا في إيجادها، وسوف نرى أنه كان على صواب في ذلك. أما بالنسبة إلى الباقين، فإنه هراء، هذيان ولغو، مخيلات عقيمة (في جعبتي أيضا بعض الكلمات الأمضى). ومثلما فعل فينمان الأمين وآينشتين الشكاك، نجد الحكمة منغمسة في المجاهرة: «يوجد شيء ما لا نفهمه». لكن الآن يمكنك أن تتعجب وتتساءل: مَن نكون حتى نفهم وكيف السبيل إلى ذلك؟

ظاهرة التساوق المفقود

كانت هناك حاجة إلى وقت أكثر حتى يمكن إيجاد حل لمشكلة التداخلات العيانية [الماكروسكوبية]. كان لدى هيزنبرغ بعض الاعتبارات المبكرة في صورة أحاسيس حدسية، ولكن كان الجواب الصحيح هو الحدس الافتراضي conjecture الذي طرحه هانز ديتر تسه Hans Deter Zeh في سبعينيات القرن العشرين، واختُبر حدسه الافتراضي على نماذج بسيطة، كما ظهرت نظم جليلة الشأن في سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين على أيدي هِب K. Hepp وليب E.H. Lieb وتسورك W. Zurek وكالديرا A.O. Caldeira وليغيت A.J. Leggett ويووس E. Joos وهانز ديتر تسه. ولم يعد ثمة مجال لأي شك: إن واحدا من أسرع التأثيرات وأكثرها كفاءة في الفيزياء كان فعالا في أن تتلاشى تداخلات عيانية. وأخيرا اكتشف كاتب هذه السطور نظرية عامة من دون الاعتماد على نماذج خاصة. الملاحظة التجريبية للتأثيرات في العام ١٩٩٦ في باريس، على أيدي فريق عمل برئاسة رايمون J. M. Raimond وهاروش S. Haroche، لاتزال هي الأكثر إقناعا.

(*) هذا هو جوهر الاتجاه الأداتي في فلسفة العلم المشار إليه في الهامش ص ٢٣٧ [المترجمان].



لا يمكن شرح التأثير بكلمات بسيطة أو بواسطة قياسات ومماثلات موحية. إلا أن تخمين الإجابة الصحيحة لن يحتاج إلى وقت طويل. ومع ذلك فإن الموضوع بالغ الأهمية لدرجة أننا لهذه المناسبة سوف نتغلب على مقاومتنا لاستخدام براهين رياضية في هذا الكتاب.

ترجع القصة إلى فون نيومان الذي لاحظ في مطالع الثلاثينيات من القرن العشرين أن حالة نبيطة تبدو محيرة جدا بعد إجراء عملية القياس، وهي الملاحظة التي أصبحت شائعة بعد ذلك في المثال الشهير لقطة شرودنغر. الافتراض الأساسي لهذه الملاحظة يقضي بأن نبيطة القياس والمنظومة المقيسة (ذرة، على سبيل المثال) كلتيهما تخضعان لقوانين ميكانيكا الكوانتم.

خذ في اعتبارك نبيطة تقيس مُركِّبة اللف لذرة ما. إذا كان مقدار اللف ١/٢ فإنه لا يوجد سوى قيمتين ممكنتين للكمية الممكنة ملاحظتها التي تمثل مُركِّبة اللف في اتجاه ما محدد في الفراغ، وليكن الاتجاه ‎-z‎. هذه هي الكمية التي أمكن ملاحظتها وقياسها، وقيمتاها الممكنتان هما + $\frac{1}{2}$ و- $\frac{1}{2}$ لاحظ أن كلتا العبارتين «قيمة مُركِّبة اللف ‎-z‎ هي + $\frac{1}{2}$ (أو - $\frac{1}{2}$)» محددتان جيدا بصورة كاملة بواسطة مؤثرين [عاملي إجراء] في إطار التواريخ.

اقترح فون نيومان أنموذجا للقياس تكون نبيطة القياس فيه عبارة عن إبرة تشير إلى مسطرة. هذا المؤشر يحدد الموضع صفر (٠) قبل القياس، وبدقة أكثر تكون دالة موجته $\Psi_0(x)$ ضيقة جدا وقممها عند قيم x القريبة جدا من الصفر. عندما تدخل ذرة الجهاز ومُركِّبة لفها ‎-z‎ تساوي + $\frac{1}{2}$ (أو - $\frac{1}{2}$)، فإن المؤشر يتحرك ويوضح موضعه الجديد نتيجة القياس بالإشارة إلى +١ (-١) بدقة أكثر، دالة الموجة $\Psi_+(x)$ (أو $\Psi_-(x)$) التي تصف موضع المؤشر تكون ضيقة جدا وتظهر قممها عند قيم x قريبة جدا من +١ (-١).

حسنا حتى الآن، ويمكننا القول بأن أنموذج فون نيومان يعطي وصفا مرضيا لقياس حقيقي. لكننا نقلق ونتزعج بشدة إذا وصلت الذرة بمُركِّبة لف محددة مقدارها +١/٢ في الاتجاه ‎-x‎، في حين أن الجهاز لايزال معدا لقياس مركبات لف في الاتجاه ‎-z‎. نجد أن الدالة الموجية للمؤشر في نهاية القياس هي $\Psi(x) = (1/\sqrt{2})(\Psi_+(x) + \Psi_-(x))$. تحتوي الدالة على الحد $\Psi_+(x)$ الذي يوضح أن المؤشر في الموضع +١ وعلى الحد $\Psi_-(x)$ الذي

يوضح -١ (*). كلتا الخاصيتين موجودتان آنيا في الدالة الموجية الكلية، وتعبران عن شيئين مختلفين، + ١ و -١ قطة حية وقطة ميتة). هذه الصيغة البسيطة تمسك بأصعب لغز وأفضل سر خفي في فيزياء الكوانتم، ولا يوجد أدنى شك في أنها صادقة. ويؤكد هذه النتيجة تجارب عديدة تحل فيها ذرة او جسيم مكان المؤشر: تراكب الدوال الموجية ليس آفة ولكن يمكن اقتناصه بسهولة في أثناء تآثر.

أشار هيزنبرغ وهانز ديتر تسه على خطأ غير مقصود وقع سهوا في أنموذج فون نيومان: إن نبيطة حقيقية للقياس ليست فكرة يمكن وصفها تماما باستخدام متغير واحد x. يوجد نموذجيا بليون بليون بليون (10^{27}) جسيم في قطعة جهاز معملي، لهذا فإن الدالة الموجية الصحيحة يجب ألا تكتب على الصورة $\Psi(x)$، بل بالأحرى أن تكون $\Psi(x,y)$، حيث ترمز y إلى بليون بليون بليون متغير، أو نحو ذلك. هذه الدالة الموجية هي حاصل جمع دالتين أخريين $\Psi^+(x,y)$ و $\Psi^-(x,y)$، المناظرتين للدالتين $\Psi^+(x)$ و $\Psi^-(x)$، على الترتيب.

تمثل المتغيرات y الصفات المجهرية [الميكروسكوبية] لنبيطة القياس المتضمنة لكل الأنوية والإلكترونات الموجودة بداخله، وأيضا خارجه في أغلب الأحيان: على سبيل المثال، جزيئات الهواء في الجو المحيط وبالمثل الفوتونات إذا كان هناك بعض الضوء في المعمل كما هو معتاد. وطبقا للاصطلاح، أطلق اسم «بيئة» على المنظومة الصورية التي تصفها متغيرات وافرة العدد في y.

إن الفكرة الحدسية وراء «ظاهرة التساوق المفقود» التي تكبت التداخلات المجهرية [الميكروسكوبية] هي كما يلي: إن دالة موجية مثل $\Psi^+(x,y)$ تعتبر في حقيقة الأمر معقدة جدا بالنسبة إلى المتغير y، وفوق ذلك، هي حساسة جدا لموضع المؤشر، أي لقيمة x. إذا كانت الإبرة تدور على محور عند مركز قرص مدرج [مقياس] دائري، على سبيل المثال، فإنه لا مناص من وجود بعض الاحتكاك الذي قد يسبب تغيرات في عالم الذرات الصغير مشابهة لحدوث زلزال بمقياسنا. وبناء على ذلك تكون الدالتان الموجيتان $\Psi^+(x,y)$ و $\Psi^-(x,y)$ مختلفتين تماما.

نحاول أن نتخيل مثل هذه الدالة التي تتغير إشارتها في أماكن عديدة عندما يحدث تغير طفيف هو واحد فقط من بين ب ب ب [= بليون بليون بليون] متغير، وفي أماكن عديدة أكثر عندما تتغير عدة متغيرات؛ يكون الطور

(*) للتبسيط، نفترض أن الذرة بعد إتمام القياس أصبحت تائهة بين ذرات نبيطة القياس [المؤلف].



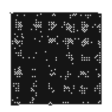
من الناحية العملية عشوائيا تحت التأثير الكامل لكل البليون بليون بليون متغير. نتأمل الآن دالتين واجهتا مصيرين مختلفين. لا توجد أي فرصة على الإطلاق لأن يكون هناك أي شيء مشترك في إشارتيهما وطوريهما لنفس قيمة y، لذلك كان الاسم «التساوق المفقود decoherence» الذي يعني فقدان أي تلازم طوري محتمل بينهما.

ولكي تُرى تداخلات مجهرية الممكن ملاحظته بالنسبة إلى x يلزم أن يكون اعتماد الدالتين الموجيتين على y متساوقا coherent. هذه نقطة فنية يمكن برهنتها بسهولة، ولكن سوف نفترض التسليم بها جدلا (*). وعلى أقل تقدير النتيجة واضحة وبسيطة: السلوك الشاذ للدوال الموجية في وصفها للبيئة يطمس أي مظاهر ممكنة لتداخلات كوانتية على مستوى مجهري قابل للملاحظة. إذا كانت القطة ميتة، فإن دالتها الموجية الداخلية لن تستعيد أبدا التناغم الطوري الدقيق لدالة موجة القطة الحية. إن إضافة دالة موجية لقطة ميتة وأخرى لقطة حية في حاصل جمع $\Psi^{+}(x,y) + \Psi^{-}(x' y)$ يشبه جمع موجات بحر وخوار حوت: لا يمكن أن يتداخلا، يجهل كل منهما الآخر، يظلان منفصلين.

لا يمكن أن نصب نظرية التساوق المفقود في قالب هذه الصورة الحدسية لأننا نفتقد أدوات نظرية جيدة لبحث طور دالة موجية لها ب ب ب متغير، اللهم إلا في نماذج بسيطة جدا. يجب أن نستخدم وسائل أخرى توحي بها نظرية العمليات اللا عكسية (**) ونظرية المعلومات. على أي حال، يمكن بمنتهى البساطة التعبير عن النتيجة الرئيسية لظاهرة التساوق المفقود بلغة المنطق: في أي زمن معين، تكون قطة شرودنغر إما ميتة وإما حية، هذا أساسا هو قصارى ما يمكن أن تقوله نظرية الاحتمالية (الرجحانية). ومع ذلك فإن هذا يتفق تماما مع الحس المشترك: لا يوجد هنا أي سر أو غموض. يمكن أن نضيف إلى هذا أن ذلك الفصل المنطقي الواضح قد لا يستمر ولا يتحقق خلال فترة زمنية قصيرة في أثناء موت القطة (أو عندما يبدأ المؤشر في التحرك بعيدا عن موضعه الابتدائي نحو الاتجاهين اللذين لايزالان غير مؤكَدين ويؤديان إلى +١ أو -١؛ وسرعان ما يتجه نحو أي

(*) رياضيا، تكون متعامدة Y+(x,y) على Y_(x ،y)، بغض النظر عن قيمتي x وy [المؤلف].

(**) العملية اللاعكسية irreversible process تحدث في نظام ما. وإذا عكست لا يعود النظام إلى حالته الأصلية، مثلما يحدث لعملية ديناميكية حرارية يصاحبها فقدان في الطاقة [المترجمان].



منهما). لا يتسنى لأحد أن يقول عن القطة إنها ميتة أو حية في الوقت نفسه، مثلما كان ظاهرا في الرؤية المبسطة لكل من فون نيومان وشرودنغر. لقد وضعت ظاهرة التساوق المفقود نهاية للأسطورة القديمة المتعلقة بقطة شرودنغر الخيالية.

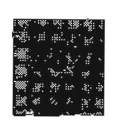
عجائب التساوق المفقود: الفيزيائية

ظاهرة التساوق المفقود لها نتائج عديدة بعيدة المنال. دعنا ننظر إليها أولا بعيني فيزيائي، لقد رأينا أنها شديدة الارتباط بالاحتكاك، أو بتأثيرات التبديد عموما، تلك التي تتبدل خلالها الطاقة بين الحركة الكلية للمؤشر، مثلا، والحركة الحرارية غير المرئية لذراته. لهذا السبب لن يندهش المرء إذا كانت النظرية العامة للتساوق المفقود تشترط أيضا نظرية تبديد theory of dissipation.

وبناء على ذلك ينشأ السؤال: «ماذا يحدث عندما لا يكون هناك تبديد؟ الإجابة هي: «لا تساوق مفقودا». لقد أُنشئت النبائط [= الأدوات والأجهزة] فائقة الموصلية superconducting التي بينت غياب ظاهرة التساوق المفقود بطريقة ملحوظة. وحتى إذا كانت نبائط سكويد SQUIDs (أي نبائط التداخل الكوانتي لظاهرة الموصلية الفائقة) (*) عيانية (لها شكل وحجم دبوس الشعر القديم)، فإنها تظهر سلوكا كوانتيا نموذجيا: تأثيرات نفقية. ومع ذلك فإن هذا النوع من النبائط تحفة معملية جديدة، واحتمال وجودها في الطبيعة قليل جدا. أما الأكثر شيوعا فهو نظام فيزيائي عياني معروف جيدا ومغلق أما التساوق المفقود: ألا وهو الضوء العادي. فالإشعاع عندما يحتوي على فوتونات عديدة، يكون بحكم طبيعته الخاصة نظاما عيانيا [ماكروسكوبيا]. وتتآثر (**) الفوتونات بمعدل بالغ الضعف، كما لو كانت عمليا لا تتآثر على الإطلاق، ولا يوجد تبعا لذلك أي تبديد بينها ولا أي تلازم مفقود. بهذا نستطيع أن نتوقع ملاحظة تداخلات

(*) الكلمة أو المصطلح سكويد SQUID تكتب حروفها دائما كبيرة (كابيتل) لأنها مكونة من الأحرف الأولى لهذا التعبير: أي نبائط التداخل الكوانتي لظاهرة الموصلية الفائقة superconducting quantum interference devices، وأضيف حرف u لتسهيل النطق [المترجمان].

(**) كما أشرنا من قبل: لاحظ صياغتنا للفعل تتآثر، بالمدة على الألف كترجمة للفعل interact، لكي يختلف عن الفعل - تتأثر- في أنه يفيد التأثر المتبادل ونعتقد أن الفعل بهذه الصورة يفيد المعنى الفيزيائي المقصود [المترجمان].

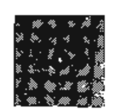


كوانتية بمساعدتها على المستوى العياني. هل تحدث هذه التداخلات فعلا؟ نحن نعرف الإجابة، لأن هذه التداخلات أمكن ملاحظتها لأول مرة على أيدي توماس يونغ T. Young.

دعنا الآن نترك الحالات الاستثنائية جانبا ونأخذ في اعتبارنا الظروف الكونية الشاملة تقريبا التي يمكن لظاهرة التبديد أن تحدث عندها. التبديد (أو الاحتكاك، سيان) يميل إلى إبطاء الحركة، أو إخمادها. البندول، مثلا، لن يتذبذب إلى الأبد: إنه يتباطأ. هذا التأثير يوصف كميا عن طريق ما يسمى زمن التضاؤل damping time الذي يُعرف بأنه الزمن الذي تستغرقه سعة البندول لتقل بمعامل ما اختياري تحكمي. يمكن ملاحظة زمن التضاؤل بسهولة، وما يُسمى معاملات التضاؤل معروفة بصورة عامة.

التساوق المفقود له أيضا معامله الخاص، وزمن فقد تساوقه الذي يرتبط مباشرة بمعامل التضاؤل طبقا للنظرية. هذه العلاقة تقضي بأن زمن التضاؤل يكون أكبر من زمن التساوق المفقود بعامل يتضمن عكس مربع ثابت بلانك. وهذه نسبة مروعة تعتمد بالطبع على كميات فيزيائية أخرى مثل كتلة البندول ودرجة الحرارة. على أي حال، ثابت بلانك، بالوحدات العادية التي تناسبنا، في حدود ب ب ب، وبهذا يكون مربعه ب ب ب ب ب ب، أو ١٠^٥٤ . وبما أن زمن التضاؤل عموما كبير، فإن زمن التساوق المفقود بالتناظر يكون بالغ الضآلة إلى درجة أن التساوق المفقود يبرهن في النهاية على أنه كفء ومؤثر بصورة سريعة وهائلة.

من قبيل التوضيح، دعنا ننظر إلى حالة قصوى يكون التساوق المفقود فيها بطيئا بصورة واضحة. هذا ممكن الحدوث عند درجة حرارة الصفر في الفراغ. ولنأخذ في اعتبارنا بعد ذلك حالة البندول الذي يبدأ كحالتين متراكبتين، مثل المؤشر الذي ناقشناه من قبل. الموضعان تفصلهما مسافة قدرها ميكرون واحد. نفترض، من أجل التحديد، أن كتلة البندول غرام واحد، وزمنه الدوري ثانية واحدة، وزمن التضاؤل دقيقة واحدة. يمكن التعبير عن كفاءة التساوق المفقود بالزمن الذي تستغرقه تداخلات كوانتية عيانية لتقلّ بعامل 2 . الجواب هو ١٠^-١٦ ثانية: التأثير من دون شك عالي الكفاءة! هذه النتيجة تأكدت أكثر بالتحقق من أن التأثير في هذه الحالة بطيء بشكل واضح (إذا جاز التعبير). تختفي التداخلات العيانية بسرعة أكبر كثيرا عند



درجات حرارة لا صفرية، وفي بيئة خارجية. على سبيل المثال، يكفي وجود جزيئات هواء قليلة تصطدم بالبندول لكي تبدأ التداخلات في التلاشي. التساوق المفقود، فضلا عن ذلك، نشط وفعال جدا: يبدأ في القضم فورا عند تداخلات كوانتية من دون أن يعطيها وقتا كافيا لكي تتطور.

لقد ترسب لدى المرء انطباع محير لفترة طويلة عند إثبات النماذج الصريحة، مؤداه أن التساوق المفقود بالغ السرعة والنشاط لدرجة يستحيل معها رؤيته، أو بدقة أكثر، نقول إن أدواتنا التجريبية لا تستطيع أبدا أن ترصد الظاهرة في أثناء حدوثها؛ فهي بطيئة جدا، وتصل متأخرة جدا، بعد أن يكون التداخل قد حدث ولم يخلف وراءه أثرا. الفيزيائيون لا يحبون أن تكون الظاهرة التي يدرسونها مراوغة ومحيرة، ويرغبون في ملاحظتها فعلا قبل أن يكونوا مقتنعين تماما. كيف يتم ذلك؟ من الواضح أن ذلك يتم باستخدام جسم على شفا أن يكون عيانيا [ماكروسكوبيا]، ومع ذلك مازال مجهريا [ميكروسكوبيا]وهو يسمى جسما وسطا [جسما ميزوسكوبيا mesoscopic object].

مثل هذه المنظومة، النظيفة جدا، استخدمها رايمون وهاروش وفريقهما. أحضروا ذرة روبيديوم داخل حالة ذات أعداد كوانتية عالية جدا، حيث يكون الإلكترون بعيدا جدا عن النواة. وبعد أن تعبر الذرة نبيطة مناسبة تخرج في حالة تراكب من حالتين وتكون جاهزة لإظهار تداخلات. يمكن وصف جهاز القياس بصورة تقريبية كمؤشر إشعاع. يتكون المؤشر من فوتونات قليلة (١ إلى ١٠) في تجويف، جدرانه تشكل بيئة المؤشر. لاختصار القصة الطويلة، دعنا نقل فقط إن تداخلات الكوانتم تمكن ملاحظتها، ويستطيع المرء رؤيتها وهي تتناقص مع الزمن طبقا للنظرية. يتغير أمد التساوق المفقود بتغير عدد الفوتونات في التجويف وبتغير قيمة بعض البارمترات الأخرى التي يمكن ضبطها. الخلاصة أنه لا يوجد أي شك في أن التساوق المفقود ظاهرة فيزيائية حقيقية تدمر تداخلات الكوانتم على المستوى العياني. وفضلا عن ذلك، بإمكاننا أن نفهمه باعتباره نتيجة مباشرة للمبادئ الأساسية.

عجائب التساوق المفقود: المنطقية

توجد كذلك بعض النتائج الأساسية للتساوق المفقود بالنسبة إلى الإبيستمولوجيا، وحتى بالنسبة إلى فلسفة المعرفة. بدأ هذا الجانب من القصة بسؤال طرحه فوزيش تسورك Wojciech Zurek، وهو واحد من



أنشط الباحثين في نظرية التساوق المفقود. يمكن تكرار الوصف الرياضي التمهيدي الذي قدمناه من قبل لأي دالة موجية Ψ (x,y) من دون شطرها إلى حالتين منفصلتين Ψ^+ و Ψ^- (تمثلان قطة حية وقطة ميتة، أو حالتي إبرة تشير إلى -١ أو +١ على قرص مدرج). لماذا لا يُنظر مباشرة إلى الدالة الموجية الكاملة Ψ(x,y)؟ التساوق المفقود حينئذ سوف يتوقع أن دالتين مثل Ψ (x,y) وΨ (x',y)، لهما إحداثيات بيئية مجهولة للمتغير y عددها ب ب ب، لقيم ثابتة للإحداثيات العيانية للمتغيرين x و 'x، سوف تفقدان التساوق الطوري إن عاجلا أو آجلا. هذا الميل لا يذهب أبعد من أن نضع x تساوي 'x، حيث إن Ψ (x,y) تظهر بوضوح تساوقا طوريا كاملا مع نفسها. كان غرض فوزيش تسورك هو أن هذا النوع من «القطرية diagonalization» (أي، فقدان التساوق إلا في حالة x تساوي 'x تقريبا) يكسر قاعدة اللاتغير invariance التي ركز عليها ديراك في أواخر العشرينيات [من القرن العشرين].

تحويل لاغرانج - هاملتون في الديناميكا الكلاسيكية يوصف بأنه لامتغير تحت مجموعة كبيرة من التحويلات القانونية المشتملة على متغيرات كل من الموضع وكمية التحرك. وبالمثل - وهذا هو غرض ديراك - ميكانيكا الكوانتم لاً متغيرة تحت مجموعتها الكبيرة الخاصة من التحويلات القانونية، وهذا مفيد جدا في دراسات نظرية عديدة. هذا النوع من القطرية التي تفتقد التساوق لا يمكن، رغم ذلك، أن يكون لا متغيرا تحت مجموعة كاملة من التحويلات القانونية (في المتغيرات x وكميات التحرك المناظرة). يجب انتقاء بعض المتغيرات الخاصة («أساس» معين بلغة أكثر فنية)، وليكن x، مثلا، إحداثي موضع وليس كمية تحرك، أو أي شيء آخر.

لا نستطيع التعمق في التفاصيل الرياضية المطلوبة لشرح السبب في أن صديقنا القديم، أي مبدأ القصور الذاتي، مسؤول في النهاية عن اختيار خاص لمتغيرات في حالة تساوق مفقود. سوف ننص فقط على النتيجة: التساوق المفقود يؤدي مباشرة إلى تصور نيوتن للميكانيكا الكلاسيكية. من الذي يهتم أو يبالي؟ ربما تفكر أنت في ذلك، نيوتن أو هاميلتون كلاهما سيان بالنسبة إلي. أصغ إليَّ بأناة من فضلك، لأن الأمر عجيب فعلا.

يجب أن يقال أولا إنه كان هناك شيء ما ناقصا في ما يتعلق باستعادة الحس المشترك والفيزياء الكلاسيكية على النحو الذي عرضناه من قبل. كنا قادرين على مصادرة الميكانيكا الكلاسيكية، ولكن في صورة أكثر تجريدا،



بمحاذاة الصورية الرياضية للاغرانج وهاميلتون. صحيح أننا استعدنا الحس المشترك والحتمية، ولكنني لم أخبرك عزيزي القارئ كيف ظل هذا الرأي عن عالمنا تجريديا. لقد قلت ببساطة، عابثا بخبث، إن الملاك كان مقتنعا وراضيا به. الملاك، ربما، لكن ماذا عني وعنك؟ هل اعتدنا السير في ما يسمى الفضاء الطوري أم فقط في الطرقات؟

نتائج التساوق المفقود تغطي ما تبقى من الطريق الممتد الواصل من تجريدية المبادئ الكوانتية إلى السلوى المريحة للحس المشترك. ويمكن تضمين تأثيرات التبديد، على سبيل المثال، في الوصف الكلاسيكي للديناميكا. الخطوة الأخيرة التي ترجع إلى مصادر الفيزياء، من لاغرانغ إلى نيوتن، تعتبر، مع ذلك معنوية أكثر. فكر نيوتن في جسم ميكانيكي عياني [ماكروسكوبي]، صلب أو مائع، مكون من أجزاء صغيرة موضوعة في فضاء [مكان] عادي، ليس بالطبع في فضاء رياضي ذي إحداثيات عديدة بعدد درجات الطلاقة freedom الموجودة. هذه القطع الصغيرة من المادة تعتبر خارج ذلك المكان، مع أنها تحتوي على ذرات عديدة. أستطيع أن أضع أصبعي عليها وأقول لك «انظر إلى هذا». يخبرنا التساوق المفقود، عندما يؤخذ مبدأ القصور الذاتي في الاعتبار، أن رؤية العالم هذه في فضاء عادي ثلاثي الأبعاد، أو بالأحرى صحة هذه الرؤية، هي في الحقيقة نتيجة لميكانيكا الكوانتم. نستطيع في عالمنا الخاص بنا أن نكون بسطاء مرة ثانية، أن نكون إغريقيين من جديد، بعقل متحرر مستنير. بإمكاننا أن نرى ونفهم. إن التمثل المرئي لعالمنا العياني متفق تماما مع القوانين الأساسية للفيزياء والتي بدا أنها تنفيه وتنكره لفترة طويلة، وقد أعيد التآلف والانسجام. وأحسب أن هذا يقتضي الاحتفال به، وربما استحق كأسا من الشمبانيا (*).

ابتهج الملاك عندما أُخبر بهذه النتيجة، التي كانت معلومة في السماء منذ حوالي ب ب ب ألف من السنين. يستطيع أخيرا أن يفتح عينيه، اللتين لم تريا إلا ضياء ذلك المكان العلوي الخالي من الفوتونات، ويرى عالمنا الأدنى من بعد. هتف قائلا: «يا لجمال الأرض، كم هي رائعة عندما تُرى كما يراها

(*) هكذا عبر المؤلف بطريقته الخاصة عن الاحتفال بالمناسبة السعيدة بقوله: and might well be worth a glass of champagne، وهو تعبير يتفق سيمانطيقيا مع التقاليد الغربية. وربما كان الأحرى بنا أن نترجم هذا بتعبير يتفق مع تقاليدنا وأسلوبنا نحن العرب في الاحتفال، فنقول مثلا إن تلك النتيجة التي تم الوصول إليها استحقت أن ننحر من أجلها خروفا، أو حتى عجلا [المترجمان].



البشر! أما الدالة الكوانتية فكم هي شاحبة باهتة عندما تُقارن بالوردة المختبئة فيها! هذه هي الطريقة الواقعية الوحيدة للنظر إلى العالم. إنها طريقة الحب».

عندما تكون هناك لحظة صمت مفاجئة في أثناء محادثة بين عدة أشخاص، يقول الفرنسي إن ملاكا قد مرّ. ونحن ربما يكون لدينا برهة صمت كي ندع ملاكنا يمر. أما وأننا الآن بين البشر، هل يستطيع التساوق المفقود أن يخبرنا بكل شيء؟ كلا. لعلك تذكر القصة المخبولة عن البروفسور بابيلار، الذي اكتشف أنه ربما لا يكون موجودا بسبب ميكانيكا الكوانتم. بدت القصة غير معقولة لأي شخص ذي حس مشترك، لكن من الواضح الآن أنها جنون عضال، وضد المنطق، إن شئت، لأنه يمكن صياغتها بمصطلحات بعض تواريخ غريفيث التي يمكن تبيان عدم اتساقها. عدم الاتساق هذا، وتحديدا الفشل في تحقيق شروط غريفيث للاتساق، يمكن إثباته من التساوق المفقود. لكن من ذا الذي يهتم ببابيلار؟ النتيجة معنوية أكثر. إلى حد كبير: أي خاصية يمكن تقريرها كمحصلة للتساوق المفقود سوف تظل بعد ذلك صحيحة إلى الأبد، ولا يمكن لأحداث تالية أن تنسخها. هذا يعني أن مفهوم الحقيقة صحيح تماما في ميكانيكا الكوانتم. إذا ما عدّل امرؤ تعريف بور لظاهرة ما على أنها حقيقة قابلة للإدراك والتصور، فإن كل الظواهر يمكن اعتبارها خصائص كلاسيكية ناتجة عن تساوق مفقود.

عندما نتذكر أن الحس المشترك لا يوجه معظم تفكيرنا فقط، إنما أيضا أفعالنا، فإن هذا الإمكان للاعتماد على الوقائع يكون جوهريا بطبيعة الحال. التساوق المفقود ينقذ مظاهر الواقع العادي تماما.

آخرة العجائب: اتجاه الزمن

العجيبة الأخيرة التي يقدمها التساوق المفقود تتعلق باتجاه الزمن. يتردد سؤال قديم في الفيزياء عن الاتجاه المفضل للزمن في العالم الذي نراه محيطا بنا: البندول يتباطأ وذبذباته لا تزداد تلقائيا، يغطس الغواصون ولا يفرون من الماء؛ نحن ندرك بوضوح أن الفيلم يعرض أحداث الماضي. الزمن له اتجاه في العالم العياني، لكن لا يوجد مثل هذا الاتجاه المميز بين الجسيمات. فالقوانين الأساسية للفيزياء، بما فيها ميكانيكا الكوانتم، هي



نفسها عندما يُعكس اتجاه الزمن. كيف يمكن التوفيق بين هاتين الحقيقتين المتعارضتين؟

لقد ركزنا من قبل على العلاقة بين التساوق المفقود والتبديد. يعمل التساوق المفقود في اتجاه معين للزمن يكون متصلا بالأحداث التي يربط بينها. على سبيل المثال، يستحيل الانتقال من قطة ميتة إلى قطة حية، في تجربة شرودنغر الصورية، ونعود إلى القطة الحية التي كانت لدينا في البداية. التساوق المفقود لا يتسق منطقيا مع هذا العكس للأحداث. لماذا؟ لأنه لن يكون علينا أن نجهز فقط بمنتهى البساطة قطة حية وقطة ميتة، فهذا يسير، وإنما علينا أيضا أن نجهز دالتيهما الموجيتين بدقة تامة، نزولا إلى متغيراتهما، التي تبلغ ب ب ب لكلٍ منهما، حتى يتسنى أن تعود حالتاهما إلى ما افترضه شرودنغر في صندوقه. هذا مستحيل.

هل هذا مستحيل مائة في المائة؟ ليس تماما. إذا كانت «القطة» مكونة من ذرتين أو ثلاث، فإنه يمكن القيام بعملية العكس في بعض الحالات، واتجاه الزمن لا يهم. لكن مع وجود ب ب ب ذرة لا يمكن عمل ذلك. أو بدقة أكثر، نقول إن النبيطة التجريبية اللازمة لتحقيق هذا الغرض ستكون أكبر من العالم بأكمله. أي بالغة الكبر لدرجة أنها لن تعمل بسبب النسبية الخاصة: عمليا سوف تستغرق الأفعال في الجهاز زمنا لانهائيا. ومع ذلك، فهناك من يقول إن هذا مسألة مبدأ. لماذا لا يؤخذ في الاعتبار نبيطة مؤلفة من مادة خيالية بحيث تجعله صغيرا لدرجة كافية، مع الإبقاء على العدد اللازم من «درجات الطلاقة»؟ قد يكون الجهاز صغيرا على هذا النحو، لكنه يكون بالغ الثقل لدرجة أنه ينهار فورا إلى ثقب أسود. بكلمات قليلة: قوانين الفيزياء التي نعرفها تحظر التغير في اتجاه الزمن بالنسبة إلى قطة كبيرة بدرجة كافية.

يختار التساوق المفقود اتجاها معينا للزمن بالنسبة إلى الأحداث التي يستطيع ربطها بطريقة متسقة. وبسبب العلاقة الوثيقة بين التساوق المفقود والتبديد، يكون اتجاه الزمن هذا هو نفسه كما في الديناميكا الحرارية. وأخيرا، بسبب أن التساوق المفقود هو إلى حد كبير الآلية الأكثر كفاءة لتأكيد صحة المنطق الكوانتي (شروط الاتساق لغريفيث)، يوجد أيضا اتجاه معين للزمن في تعليلنا المنطقي للعالم، في الحس المشترك المنبثق منه، وهذا الاتجاه أيضا هو نفسه كما في الديناميكا الحرارية.



إن كلمة «عجيبة wonder» تكون ملائمة بكل تأكيد عندما ندرك الطريقة التي تكشف بها ميكانيكا الكوانتم عن الأسرار التي أصبحت تقريبا لا تُرى أو تُلاحظ: أسرار صحة الفيزياء الكلاسيكية وقيمة الحس المشترك. وكم نحن بعيدون عن إذعان هيوم وتقييدات كانط، وكيف أن هذا سوف يرسم بكل وضوح معالم الطريق نحو آفاق جديدة في الفلسفة. إن عالم الفكر الذي يقدر الإنسان فيه قيمة النتائج ذات التأثير الأعظم كفاءة في الفيزياء تقديرا كاملا لا يمكن أن يكون أبدا هو العالم القديم نفسه.

نظرية القياس

قلنا إن نظرية القياس تتقدم بطريقة استنباطية من المبادئ الأولية. وبعض النتائج التي ذكرناها من قبل تؤدي دورا أساسيا في الاستنباط. بناء على ذلك، يمكن وصف المعطيات التجريبية التي تظهرها نبيطة القياس بطريقة كلاسيكية خالصة. وعرفنا لماذا يكون هذا ممكنا عندما ناقشنا إمكان استعادة الحس المشترك. من الضروري أيضا أن تكون المعطيات خالية من تداخلات، وهذا يكون نتيجة للتساوق المفقود. وهذا الأخير يؤدي أيضا دورا رئيسيا في واقعة مفادها أن المعطيات تنتمي إلى تواريخ متسقة (بإدراك ومغزى غريفيث).

قد يساعدنا أولا على الفهم السديد لماهية القياس أن نميز بين مفهومين ملتبسين كثيرا: معطيات (عينية concrete) ونتيجة (ذات معنى meaningful) للتجربة. إن المعطيات بالنسبة إلينا حقيقة عيانية [ماكروسكوبية] كلاسيكية. وبهذا عندما نرى العدد ١ على شاشة عداد غايغر، فإن هذا يكون هو المُعطى. أما النتيجة فهي شيء مختلف، إنها خاصية كوانتية بصورة صارمة، وفي الأغلب وبلا تغير تكون متعلقة بالعالم المجهري [الميكرسكوبي]، مما يعني أن نواة مشعة قد تحللت، على سبيل المثال، أو أنه قد رُكِّبَت مُركَّبة للف جسيم. المعطى هو خاصية كلاسيكية تتعلق بالجهاز فقط؛ إنها تعبير عن واقعة [أو حقيقة fact]. النتيجة تتعلق بخاصية عالم الكوانتم. إن المعطى وسيط أساسي للوصول إلى نتيجة.

يجب أن تبدأ أي نظرية دقيقة بتحديد الصفات المميزة التي تكوِّن نبيطة تجريبية معينة في شكل جهاز قياس. ومع ذلك، سوف نحذف هذه الصفات ونظل بعيدين عن التفصيلات الفنية. ما يهم هو أننا نستطيع أن نصنع من تلك

المعايير مفتاح استنتاجنا النهائي: المعطى والنتيجة متكافئان منطقيا. هذا التكافؤ ربما يمنح العذر لأولئك الذين لم يميزوا أبدا بين الاثنين، حتى لو كانت هذه المبرهنة تكتسب ميزة القوة الكاملة للصورية المنطقية والصورية الديناميكية للنظرية. وهو أيضا مثال لقدرة منطق الكوانتم المدهشة على الإيضاح. دعني أؤكد أن هذه المبرهنة ترتكز فقط على الفروض التالية: إننا نتعامل مع جهاز قياس يفترض أنه بالغٌ حد الكمال (يمكن ذكر العيوب بعد ذلك)؛ الجهاز معرض لتأثير التساوق المفقود، أما بقي الفروض فهي مبادئ النظرية.

هناك نتيجة أخرى مهمة تتعلق بالاحتمالات. ويمكن التعبير عنها بالتقريب كما يلي: بتكرار القياس نفسه مرات عديدة نحصل على معطيات قابلة للجمع الإحصائي، الذي تكون نتيجته متفقة بالضرورة مع الاحتمالات الأولية للنظرية كما فُرضت من البداية. ونُذكِّر بأنه في إنشائنا النظري ظهرت تلك الاحتمالات فقط كأداة منطقية، أو لغوية. وعند هذه المرحلة فقط تكتسب الاحتمالات أخيرا الأهمية الإمبيريقية التي كانت تفتقدها، وتدخل المصادفة الإطار النظري. بهذا نكون قد حققنا الهدف وبلغنا الغاية، حيث يمكن للنظرية في النهاية أن تُقارن بالخبرة، ويكون الطريق الموصل من الصورية إلى الواقعية العيانية كاملا بعد لأي.

رد الدالة الموجية يعود من جديد

واحدة من أهم القواعد التي نشرها بور تتعلق بقياسَيْن متتاليَيْن. هذه القاعدة، في أضعف صورة لها، تنص على أن احتمالات نتائج القياس الثاني يمكن حسابها «كما لو» كانت نتيجة القياس الأول قد حددت الدالة الموجية عند الخروج من جهاز القياس. الشكل الدقيق لهذه الدالة الموجية لا يعنينا هنا (أما بالنسبة إلى الباحث النظري، فهو الدالة الذاتية eigenfunction لأول كمية قابلة للملاحظة تم قياسها). والمسألة المطروحة هي الكشف عما إذا كانت الكلمة المذكورة أعلاه «كما لو as if» تخفي طريقة إجراء عملية أم واقعا فيزيائيا. على أي حال، لقد تأكدت القاعدة ذاتها على نطاق واسع من خلال تجارب عديدة، بحيث إن صحتها لم تعد محل شك.

رأينا أن بور لم يعتبر قاعدة الرد [الاختزال] مجرد فرضية إمبيريقية، وإنما اعتبرها واحدا من أهم القوانين الأساسية في ميكانيكا الكوانتم - قانونا أصيلا من قوانين الطبيعة. بل وأكثر من هذا اعتبرها متفردة بين القوانين الأخرى لأنها



وحدها تسمح بتطبيق النظرية، ومن ثم التحقق منها. اعتقد أيضا أنه كان من المستحيل أن يتم التحقق من صحتها إمبيريقيا، لأنها كانت شرطا لازما ومتطلبا أساسيا لأي تنبؤ. كما أنه وضعها في مستوى أساسي متميزٍ عن ديناميكا شرودنغر. علما بحقيقة مفادها أن الأخيرة توقفت عن التطبيق عندما أُجري القياس.

الإجابة التي قدمتها المقاربة الجديدة تعتبر أكثر واقعية إلى حد كبير. ففيها لا يظهر رد [اختزال] الدالة الموجية كتأثير فيزيائي حقيقي، ولا يلزم حتى ذكرها لكي يتم تطوير نظرية قياس كاملة. والحقيقة أنه، في إطار تواريخ غريفيث، وباعتبار التواريخ الكاملة لنبائط القياس والأجسام المقيسة، لا يمكن أن نجد شيئا يماثل رد الدالة الموجية، ويظل كل شيء في اتفاق تام مع معادلة شرودنغر. إلا أننا نلاحظ نتيجة رياضية خالصة: احتمال نظرية مشتملة على قياسين متتاليين يمكن أن يكتب بصيغة مماثلة لقاعدة الرد، فضلا عن أنه يكسب الأخيرة تعميما عندما لا تكون معرفة تماما.

وهكذا، فإن رد دالة موجية ليس أكثر من قاعدة ملائمة، ولكنها غير أساسية، أي أنه صيغة مراوغة تسمح لنا بأن نتجنب الحساب المنطقي. تظهر القاعدة عندما نتغاضى عن التاريخ المفصل لأول نبيطة قياس ولا نأخذ في الاعتبار إلا المعطى الذي أنتجته؛ عندئذ نتتبع تاريخ الذرة المقيسة بمجرد أن تدخل الجهاز الثاني ونحصل بهذه الطريقة على النتيجة التي تتوقعها القاعدة.

يوجد تشابه مدهش بين هذه النتيجة وأشكال أخرى أكثر شيوعا وألفة للتبسيط المنطقي. لقد رأينا إبان مناقشتنا للمنطق والرياضيات، أنه يجوز التغاضي عن خطوات في برهان النظرية واستدعاء خلاصتها فقط، وهو ما يمكننا استخدامه كبداية لبراهين وإثباتات جديدة (هذا ما أسميناه قاعدة الإثبات أو الوضع modus ponens) (*). رد الدالة الموجية هو بمعنىً من المعاني نوع من طريقة الإثبات أو الوضع، وهي طريقة منطقية مختصرة تُشطب منها جميع أجزاء تواريخ أجهزة القياس. ويكون التأثير الفيزيائي الحقيقي الوحيد الذي تتوقف عليه النتيجة هو التساوق المفقود الذي يحدث فعلا في نبيطة القياس - وليس في الجسم الذي سيقاس، مثلما كان الاعتقاد لفترة طويلة خلت.

(*) راجع الفصل الأول من هذا الكتاب «المنطق الكلاسيكي»، الجزء المعنون «فكرتان مفيدتان»، حيث كانت أولاهما فكرة قاعدة الإثبات (الثانية نصل أوكام). ومنطوق قاعدة الإثبات modus ponens هو: إمكان البدء، في منتصف الحجة، من قضية مثبتة قبلا. من دون أن يكون لزاما علينا تبرير كيفية إثباتها [المترجمان].



الهوة

ربما يظهر مما ذكرناه للتو أن المبادئ الأولى لفيزياء الكوانتم توجد تفسيرا خاصا بها. ومن الطبيعي أنها، من دون أي إضافات، تؤدي إلى صورة للعالم العادي تتفق تماما مع معظم صفاته المألوفة. فهل يتسنى لنا أخيرا أن نتلمس الراحة ونقول إن كل شيء بسيط وعادي؟ لسوء الحظ (أم لحُسْنِه؟)، كلا. لأن علينا أن نعالج مسألة مهمة، ألا وهي مسألة الواقع الذي يرغب على ما يبدو في نزع دثار الفكر الذي حميناه به. أنا أسمي هذا التطرف المتجاوز الحد «الهوة chasm»، لأنه بمنزلة الفوهة الواسعة لهوة لا يُسبر غورها، لها زمجرة وهدير.

من أين جئتِ أيتها الهوة؟ لقد ارتجف آينشتين عندما رآك وقال رافضا: لا، «إن الإله لا يلعب النرد». سوف نقترب منك، أيتها الهوة المريعة، لكن بحذر.

دعنا نتحدث كفيزيائيين ونعود إلى رد الدالة الموجية. عندما قلنا إن قاعدة الاختزال [الرد] يمكن إغفالها من قائمة مبادئ النظرية، تجاهلنا حقيقة مفادها أن القاعدة سترت صعوبة أو عقبة موجودة دائما: كل تجربة قياس ينتج عنها معطى منفرد، في شكل واقعة محسوسة لا ريب فيها. والآن، في مقابل هذا، ماذا يوجد لدينا لنقترحه؟ نظرية منسوجة من احتمالات، لعبة الممكنات. لا يوجد في نظريتنا ما يمكن أن يطرح آلية، أو علة ينتج عنها الحاضر البكر، والتفرد المستقر الخالص للواقع.

أعظم الأسئلة تلتمع وتتألق، ورهط من الفيزيائيين يفضلون هنا أن يحجبوا أنظارهم. إنهم يتوارون في جُب إعادة تأكيد النظرية الذي يرفضون الخروج منه، ويبرر بعضهم ذلك بأن النظرية تضم كل العوالم الممكنة، لهذا فإننا سوف نتصور دالة موجية ضخمة، انبثقت مع الكون، وتتطور من ذلك الحين وفقا لقوانين الكوانتم. وفي كل مرة يظهر أمامنا بديل تتفرع الدالة الموجية للكون لتطابق كل النتاجات الممكنة. هذا لا يتطلب شيئا يُذكر، نواة، في كوكب ما معتم، تتحلل (أو لا تتحلل)، وتخلف أثرا (أولا تخلف) على صخر يتعذر التأثير فيه أو الوصول إليه، وتتفرع الدالة الموجية المهيبة للكون بأكمله إلى دالتين. تحدث النتيجة نفسها إذا قاس فيزيائي تأثيرا كوانتيا في المختبر. تندفع حصاة جهة اليمين بدلا من اليسار بدفع سيل جارف وتتفرع الدالة مرة ثانية. ربما تتسم بعض هذه الأحداث بالمبالغة الساذجة أو الحمقاء، كمية أكبر قليلا من مادة أو إشعاع هنا الآن، بدلا من



هناك عندما كان الكون صغيرا جدا، يمكن أن تنتج في المستقبل البعيد مجرتين مختلفتي الشكل: سوف تتأثر آلاف النجوم. لكن أغلب الحادثات طفيفة لا يعتد بها، ونتائجها ضئيلة لا تُذكر.

هذا مؤكد من غير ريب، على أننا يجب أن نتوقعه في عالم تلعب فيه المصادفة دورا ما. النظرية تامة لأنها تتضمن المصادفة؛ ولا تتصور إلا الممكن والمحتمل. سوف نذكر، من دون أن نصادق على ما نقول، فكرة غريبة اقترحها إيفيريت Everrett العام ١٩٥٦ . كل شيء تشتمل عليه الدالة الموجية للكون منذ بداية الزمن ليس، في ما يقول إيفيريت، مقبرة لممكنات قديمة لم تتحقق أبدا، والباقي الوحيد منها هو العالم الذي نراه اليوم. الدالة الموجية تطابق واقعيات متوازية parallel realities بعدد الممكنات والاحتمالات، كلٌّ يتبع مساقه المستقل الخاص به. الواقع ليس واحدا وحيدا.

ربما تقول إن هذه فكرة جنونية، وأنا أوافقك. يبدو أن الافتراض الحدسي لإيفيريت هو الحلم الطائش لعقل سممته النظرية، أكثر من أن يكون نتيجة تأمل محسوس. ومع ذلك، هل أستطيع أن أدحضه تماما؟ يقينا لا! من بين ما نعلمه عن التساوق المفقود، أن كيانا أو كائنا ما في أحد فروع هذا الواقع المتعدد لن يبلغ أبدا فرعا آخر؛ لا توجد تجربة تستطيع أن تؤكد وجود فروع أخرى كذلك، أو أن فرعها هو الفرع الوحيد. الأكوان المتوازية، في تعدديتها التي لا تحصى، تجهل بعضها البعض تماما.

قد يقول واحد من الإمبيريقيين إن هذا مثبت ومتفق عليه، ولا جدوى إذن من مناقشة الموضوع إلى أبعد من ذلك. العلم لا يدرس إلا وقائع قابلة للتحقق، وتلك النظريات لا يمكن التحقق منها، ومن ثم فإنها لا تأتي بأي نتيجة مع العلم. فلتتعامل الفلسفة معها إذا شاءت ذلك.

هذا بالتحديد ما هدفتُ إليه. ومادامت نظرية إيفيريت موجودة ولا يمكن دحضها، ولو من حيث المبدأ، فإن السؤال عن تفرّد الواقع لا ينتمي إلى نطاق العلم، نطاق ما يمكن التحقق منه، وإنما ينتمي إلى نطاق الفلسفة أو الميتافيزيقا.

يمكن أن يقال: ولماذا لا نتفلسف قليلا؟ فلنفحص الوضع المقابل لفكرة إيفيريت، الذي يمكن أن يوصف بأنه وضع ميتافيزيقي على الرغم من كل جاذبيته وإغرائه: الواقع وحيد ومتفرد. «الأشياء على ما هي عليه.. ذاك جدٌّ عميق.. من يجهد نفسه، سوف نجهد أنفسنا قبله» (لوبيز- ميلوز).

ذاك جدٌّ عميق فعلا، لكن دعنا نستخدم صياغة ألطف، في شكل قانون فيزيائي من قبيل: «الواقع فريد. إنه يتطور مع الزمن بطريقة تجعل الأحداث المختلفة التي تحدث في ظروف متشابهة متكررة الحدوث بتردد يطابق احتمالاتها النظرية».

الفكرة بهذه الصياغة ليست جديدة بكاملها، فقد سبق نيلز بور بصياغة مماثلة. تَذكرْ الدور الخاص الذي أعزاه إلى قاعدة رد الدالة الموجية، حيث ميّزها عن قوانين أخرى في الفيزياء؛ لقد كانت بالنسبة إليه الأساس لإمكان مقارنة النظرية بالخبرة، وبهذا أفلت من أي تحقق تجريبي. لقد رأينا أخيرا على وجه اليقين أن قاعدة الرد العملي للموجة ليست تعبيرا عن ظاهرة فيزيائية وإنما هي ملاءمة منطقية بسيطة. إلا أن القاعدة بالنسبة إلى بور لها معنيان مختلفان تماما: الأول كقاعدة عملية لحساب الاحتمالات الخاصة بنتاجات قياسين كوانتيين متتاليين - وأصبحت بعد ذلك مبرهنة theorem. لكن القاعدة أيضا عللت حدوث حدث وحيد من بين كل نتاجات القياس الممكنة، ولهذا السبب تحديدا كانت مختلفة عن القواعد الأخرى. تقدم التفسير كثيرا منذ أيام بور، وأصبح واضحا الآن أن القاعدة التي سبق ذكرها اقتنصت جوهر أفكاره، حتى لو كانت صورتها مختلفة تماما.

والآن، نحن هنا لنواجه الهوة. ما الذي يمكن أن تقوله هذه القاعدة الميتافيزيقية الخاصة جدا إذا لم تنقد تلك النظرية ما قد يكون جوهر الواقع؟ كل خاصية للواقع ظهرت من جديد في بنيتها المعادة بواسطة أنموذجنا النظري، كل صفة في ما عدا واحدة: تفرُّد الوقائع. اتفقت النظرية مع الواقع على كل الأوجه في ما عدا تلك الثغرة الوحيدة. ومع ذلك فإن اختلافهما مطلق (وأنا لا أستخدم هذه الكلمة بخفة)، لأن هذا التعارض يحدث على أعمق مستوى، وكل منهما يعارض جوهر الآخر في الصميم. النظرية، بكونها رياضية خالصة، تستطيع أن تشمل الممكن فقط، وخاصيتها الرجحانية لا مفرمنها. الواقع، من ناحية أخرى، وحيد متفرد قبل كل سيء، لأنه هو المُعرّف تماما عندما نشير بأصبعنا ونقول: «ذلك That».



يبدو أننا قد بلغنا حدا أو حاجزا أساسيا لا يمكن عبوره، إنذارا أو تحذيرا يخبرنا وينبهنا بوقار بأن الصور التي تعبر عنها الرياضيات واللوغوس فيها لا توافق الواقع تماما. ما الذي نستطيع قوله غير أننا وصلنا إلى نطاق «البرنامج الديكارتي»، الذي لم يشجبه سوى هيدغر ولايزال حتى الآن عملا ناجحا وموفقا تماما؟

خلال أكثر من نصف قرن، عاود عدد لا حصر له من الفلاسفة والفيزيائيين الاقتراب من ميكانيكا الكوانتم لكي لا يفسروا وجود حالة وحيدة للأحداث، فالحقيقة أن نظرية الكوانتم لا تطرح أي آلية أو اقتراح في هذا الصدد. وهم يقولون إن هذا يمثل علامة لا تنمحي على وجود صدع أو خلل في النظرية، مما يعني أن نظرية أفضل ينبغي أن تحل محلها في المستقبل. وفي رأييّ أن هذا الموقف ينشأ عن الولع بالشروح والتفسيرات النظرية. وهؤلاء المنتقدون يودون، مهما كلف الأمر، أن يروا الكون مطابقا لقانون رياضي، نزولا إلى أدق التفاصيل، ولديهم يقينا من الأسباب ما يدعو إلى الإحباط. لقد بدا لفترة طويلة أن كل شيء يمضي لسبيلهم. لكن استمع إلى أزيز الهوة! تعالوا، أيها الفانون، وانظروا إلى الواقع على ما هو عليه، ما يتدفق في النهر حيث لا يوجد شيء أبدا في المكان نفسه مرتين، وإلى ما يُستحدث ويتغير باستمرار إلى الأبد؛ تنظرون إلى كل ذلك وتتجرأون الآن على رده واختزاله إلى مجرد تذييل للوغوس رياضياتكم التي كُشف منها عن الزمن عاريا مجردا وحيث يستمر السكون إلى الأبد!

أنا أتقبل - شبه مغلوب على أمري - الدعوى المقابلة، تلك التي تبين كم هو رائع ومدهش أن ترى جهود البشر من أجل فهم الواقع تثمر نظرية توافقه تماما لدرجة أنهم لا يختلفون إلا عند التخوم القصوى. ولا بد من أن يختلفوا وتتباعد رؤاهم في نهاية الأمر، على رغم ذلك، وإلا فإن الواقع الكوني سوف يفقد أصالة طبيعته ويعرّف نفسه بصور وأشكال أزلية لملكة من العلامات والإشارات المجمدة في تفسيره الخاص به. كلا، إن قصور العلم وعجزه عن تفسير وحدانية الوقائع وتفردها ليس عيبا أو صدعا في نظرية مؤقتة أو مشروطة، وإنما هو، على العكس، علامة ساطعة لنصر لم يسبق له مثيل. لم يحدث أبدا من قبل أن وصل الإنسان إلى هذا الحد من الظفر بمبادئ متغلغلة في قلب الأشياء وماهيتها، ولكنها ليست الأشياء ذاتها.

ضميمة

لقد تحقق بعض التقدم في ما يتعلق بمسألة التفرد منذ نشر الطبعة الفرنسية لهذا الكتاب (*). إنها مسألة منطق في الأساس: تم إيضاح أن التفسير الحالي لميكانيكا الكوانتم متوافق compatible تماما مع تفرد الواقع ووحدانيته، بمعنى أن هذا التفرد لم تتنبأ به المبادئ الأولية، ولكنه لا يتعارض معها أيضا. لهذا فإنه ليست هناك مشكلة جوهريا، ولا يوجد ما ينبغي حله بنظرية جديدة، ويبقى فقط أن النظرية والواقع على اتفاق تام حتى لو كان جوهرهما مختلفا في الأساس.

يمكن إضافة ملاحظة أخرى. يصر بعض الفيزيائيين على رؤية ما يسمونه التشيؤ (**) objectification (وهي بالمناسبة تسمية مزعجة جدا)، باعتبارها مسألة مهمة ذات مغزى. يمكن التعبير عن ذلك بسؤال: كيف يمكن أن ينتج معطى وحيد عندما تتآثر ذرة (أو جسيم) مع نبيطة قياس؟ في حقيقة الأمر، ليس هناك سوى لغة المنطق التي يكون فيها لهذا السؤال معنى. تماما مثل السؤال الشهير: «خلال أي ثقب سار الجسيم؟»، هذه المسألة المراوغة ما هي إلا خداع لعقلنا الكلاسيكي: سراب الحس المشترك يولّد رؤى ليس فيها واقعيا أي شيء محسوس.



(*) انظر للمؤلف:

Understanding Quantum Mechanics (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1999).

(**) يقصد بالتشيؤ هنا جعل الموضوع شيئا مدركا بالحواس [المترجمان].



12

عن الواقعية

كانت العلاقة بين ميكانيكا الكوانتم والواقعية دائما ذات طبيعة سجالية. ومفكرون عظام كتبوا كثيرا في هذا. إن ظلالهم فوق رؤوسنا لتدعونا إلى توخي الحذر، لكن الموضوع لا يمكن إغفاله أو تجاهله في أي تحليل فلسفي.

«يجب ألا ننسى أبدا أن «الواقع» هو كلمة من كلمات الإنسان، تماما مثل «موجة» و«وعي». هدفنا هو تعلم استخدام هذه الكلمات على نحو سليم - أي باتساق ووضوح كاملين»

نيلز بور

تاريخ موجز للواقعية

السؤال الأساسي بسيط: هل المعرفة العلمية هي معرفة بالواقع؟ الواقع يؤيد الرد بالإيجاب عن هذا السؤال. عندما يوضح العلم أن المنضدة مكونة من ذرات، وعندما يشرح كيف ترتفع العصارة في النبات، أو كيف تعمل قلوبنا، فإنه يقول - أو يبدو أنه يقول - ما هي هذه الأشياء حقيقة. لقد حلل برنار دي ديسبانيا Bernard d'Espagnat مذهب الواقعية بعناية، وعمد إلى تعريفه في حدود عمومية أكثر بوصفه اعتقادا: أن تعتبر أن «شيئا ما something» موجودا مسألة واضحة، وواقع لا تعتمد طبيعته على ملكاتنا المعرفية أو أفعالنا عندما نلاحظ أو



نقيس. مذهب الواقعية الفيزيائية الذي يكون باعثا على الجدل يضيف فرضا أقوى: نستطيع من خلال البحث العلمي أن نمتلك وسيلة للحصول على معرفة صحيحة بهذا الواقع، على الأقل من حيث المبدأ (*).

يعتقد كثير من الناس أن الواقعية الفيزيائية كانت المذهب النموذجي للفكر الكلاسيكي، قبل أن تنشأ أسئلة جديدة في القرن العشرين. من ناحية أخرى، لا يؤيد تاريخ العلم هذه الرؤية الشاملة، ويخبرنا بشيء ما مختلف كثيرا.

كان العلم لايزال شابا يافعا عندما بدأ العلماء في الاستفسار عن معناه، وجرى اقتراح مذهب آخر رافض للواقعية، إما يرفضها جزئيا - ويكون الرفض بمنزلة فكرة طارئة - وإما يرفضها رفضا كليا، اتخذ هذا الرفض الكلي درجات لونية عديدة ومختلفة مع مرور الزمن، ولكنه يقضي أساسا بأن العلم يقدم وصفا للواقع تكون مظاهر الظواهر فيه محفوظة. وتفهم الظواهر phenomena على أنها الشيء الذي نراه ونلمسه، أو بصفة أكثر عمومية، ما نعرفه بالإدراك والتصور أو بالتجارب. كلمة «مظاهر appearances» أيضا تشير إلى إدراكاتنا وتصوراتنا التي نسلم بها تسليما (ونادرا ما يعتبر العلماء أن الصور الوهمية الخادعة جديرة بأن تناقش). وطبقا لهذا المذهب ذي المدى

(*) من المعروف أن فلسفة العلوم بأسرها يمكن أن تقسم إلى تيارين أساسيين هما هذا التيار الواقعي الذي نشأت فلسفة العلم أصلا في أواسط القرن التاسع عشر مع النزعة الاستقرائية، وامتداداتها مع الوضعية، ثم الوضعية المنطقية، وخصم الوضعية اللدود كارل بوبر... كل هؤلاء وسواهم واقعيون بهذا المعنى الذي يشرحه المؤلف ويدافع عنه باستبسال، يمكن القول إن التيار الواقعي يملك مساحة أوسع من أراضي فلسفة العلم.
وفي المقابل يوجد التيار الآخر في فلسفة العلم وهو التيار الأداتي الذي يضم المدارس الاصطلاحية والإجرائية والأداتية، مع بيير دوهيم وهنري بوانكاريه وبريدغمان وسواهم. يرى هذا التيار أن النظريات العلمية محض أدوات للتنبؤ بالواقع وبالتالي السيطرة عليه، ولا شأن لها بأي تفسير للواقع أو غوص في أعماقه. يتميز هذا الاتجاه بصرامة منطقية ويشتد عوده بتنامي اعتماد العلم على الرياضيات وإيغاله في دروبها، واكتسب مزيدا من القوة بعد ترعرع برامج الحاسوب. وأيضاً نلقاه في حل من مشكلة الاستقراء الشهيرة التي تزعج الاتجاه الواقعي كثيرا، وسواها من مشاكل أخرى لا بد أن يمليها هذا الارتباط بالواقع، والتي تجعل الواقعيين يلجأون أحيانا إلى التفسير الأداتي الجزئي في فلسفاتهم للعلم.
لقد أشرنا إلى هذا التفسير الأداتي في هوامش سابقة، لأنه ليس من قبيل المبالغة القول إن هدف هذا الكتاب بأسره هو شن الحرب الضروس على الأداتية انتصارا للواقعية. إن النزعة الصورية التي هي مرمى ها الكتاب تميل بثقلها في مصلحة الأداتية.
على أن أجمل ما في الأمر حقا هو أن السطور التالية ستوضح كيف أن هذا الانقسام بين الواقعية والأداتية الذي يحكم فلسفة العلم، إنما يحكم بالقدر نفسه والعلم نفسه وصميم ممارسات العلماء.
وتظل أجمل جمالات هذا الكتاب هو قدرته على تبيان العلاقة الوثقى التي لا تنفصم عراها ألبتة بين العلم وبين الفلسفة، فما بالنا بفلسفة العلم ذاتها [المترجمان].



الواسع، تكون مهمة العلم أن يقدم تمثلا (*) للظواهر، لكنه لا يؤدي إلى معرفة الواقع ذاته. الاتجاه الأقصى تطرفا يعتبر أن العلم يُنتجُ «تمثلا فقط»، بينما تعبر اتجاهات أكثر اعتدالا بطرق متنوعة عن ألوان الطيف الواقعة بين المعرفة الدقيقة وبين التمثلات الكفء، اعتمادا على علة الظروف.

وقد عمد بيير دوهيم (١٨٦١ - ١٩١٦) Pierre Duhem مؤرخ العلم الشهير بتحليل التضارب بين الواقعية ومذهب التمثل، وقدم أيضا إسهامات مهمة في مجال الديناميكا الحرارية والكيمياء الفيزيائية. أعماله لها أهمية خاصة لأنها كتبت في أثناء الفترة التي كانت تتحول فيها الفيزياء عن الكلاسيكية classicism. اطلع دوهيم على أعمال بلانك وآينشتين ولكنه لم يتأثر بها كثيرا. ومع ذلك كان على دراية تامة بالتغير الذي حدث في روح الفيزياء نتيجة إسهامات ماكسويل، واستطاع أن يتنبأ بسيادة النزعة الصورية. ونظرا إلى أن التطورات الرئيسية في ميكانيكا الكوانتم حدثت فقط بعد موت دوهيم، فإنه يعتبر شاهدا ممتازا على الفيزياء الكلاسيكية التي كان مولعا بالتأمل في طبيعتها مليا.

طبقا لدوهيم، توجد علاقة وثيقة بين الواقعية والتفسير explanation، كانت معروفة بالفعل عند أرسطو. في العالم القديم كان «الفيزيائيون» يُعرفون بأنهم أولئك الذين يحاولون أو يعرفون الأشياء ويوضحوها بما هي عليه في الواقع، كما تراها عيوننا (**). وخير مثال على ذلك «الذريون atomists» الذين فسروا ظواهر بصرية بواسطة ذرات الضوء القادم من الشمس والمرتدة عن الأجسام المضيئة لتدخل عيوننا. إن تفسير هذه الظواهر بواسطة الفيزيائيين حينئذٍ يكمن في تكوين صورة في الذهن للأشياء كما هي، كونها ذرات، مثلا، أي جسيمات صغيرة جدا تماثل حبيبات الرمل أو دقائق التراب. ومن ثم تمكن استعادة تكوين الصورة ذاتها في ذهن إنسان آخر باستخدام كلمات.

(*) كما رأينا قام مصطلح «تمثل» و«تمثيل» representation بدور محوري في هذا الكتاب، لعله يبلغ ذروة هنا. والتمثل يعني مثول الصور الذهنية بأشكالها المختلفة في عالم الوعي، أو حلول بعضها محل بعضها الآخر. ويرى الديكارتيون وبعض الواقعيين النقديين المعاصرين أن الذهن لا يعرف الأمور المحسوسة مباشرة، وإنما يعرفها عن طريق الأفكار التي تمثلها، فهي تقوم مقامها وتجعلها ماثلة أمام الذهن [المترجمان].

(**) أما في الحضارة العربية الإسلامية، فكان «الفيزيائيون» يُعرفون باسم «الطبائعيين»، أي الذين يبحثون في طبائع الأشياء التي تكشف عن صميم ما هي عليه، مما يحمل نكهة «واقعية» واضحة [المترجمان].

وها هو تعريف الواقعية الكلاسيكية بصورة مبسطة: إنها تفترض أن كل شيء واقعي يمكن أن يفهم، ويُرى بعين التبصر، ويسهل تناوله بقدرة العقل. عندما أحيا بوسكوفيتش (١٧١١ - ١٧٨٧) Boscovitch النظرية الذرية، طرح تفسيرا لظاهرة جديدة، مثل تأثير الضغط وبعض الخصائص الكيميائية. لم يكن لديه أدنى شك في أن الذرات حقيقة واقعية كما تراها عيون الخيال منا. إن بوسكوفيتش واقعي حقا. وعندما أكد ديكارت أن المادة تتطابق مع المكان كان «يراها» ، مع يقينه بأن تخيله يتفق مع الواقع. أما بالنسبة إلى غاليليو، فيجب أن نعتبره واقعيا أقل تطرفا وأكثر حذرا وحيطة. ديكارت، غاليليو، بوسكوفيتش، من غير هؤلاء؟ وضع دوهيم قائمة بالعلماء الذين كانوا واقعيين صراحة، وتوقفت عمليا عند ذلك. يرى كل المؤلفين الآخرين أن الواقعية مختلطة بمقادير متباينة مع الاعتقاد بخصائص التمثل ووجوده.

ظهرت العلامات الابتدائية لهذا الوضع الحذر في وقت مبكر جدا مع نظريات الفلك الأولى. أبدى هيبارخوس ملاحظة أشرنا إليها من قبل، وهي، تحديدا، أنه يمكن لنظرتين مختلفتين أن تفسرا الحركات الكوكبية، إما باستخدام أفلاك التدوير أو الأفلاك خارجة المركز. كيف يتسنى لنا أن نفضل أي الخيارين على الآخر؟ ربما يكون كلاهما مثيرا للشك.

استمر هذا الشك من بوزيدونيوس Posidonius (نحو ١٣١-٥١ ق.م.) حتى القديس أوغسطين وسيمبليسيوس Simplicius في النصف الأول من القرن السادس الميلادي. عبر عنه القديس أوغسطين على نحو واضح جدا. قال عن حركة كوكب الزهرة: «حاول الفلكيون أن يعبروا عن هذه الحركة بطرق مختلفة. لكن افتراضاتهم ليست صادقة بالضرورة مادام المظهر المرئي في الأجرام السماوية ربما تصونه وتحفظه صورةٌ ما أخرى لحركةٍ لم يعرفها الإنسان بعد. الشعار الشهير الذي يقال بمقتضاه «إن العلم يصونُ المظاهر» يحدث مرات عديدة في تاريخ الأفكار واستخدمه دوهيم عنوانا لأحد كتبه.

عندما نُشرت نظرية كوبرنيقوس طُرح السؤال نفسه: هل الأرض تدور واقعيا حول الشمس، أم أن هذه طريقة أخرى لصون المظاهر؟ إذا كان الأمر كذلك، لأن نظرية كوبرنيقوس تكون أبسط من سابقاتها، لأنها تحتاج إلى عدد أقل من أفلاك التدوير، وكل فلك منها ذو حجم أصغر. عندما تحققت الكنيسة الكاثوليكية وأدركت ما كان محل نزاع أيام غاليليو، دافعت عن تصور



تمثلي خالص للعالم يتجاوز الواقعية تماما، وطبقا لرؤى توما الأكويني الفلسفية. وقد أدين ديكارت لرفضه هذا المسلم به، فقد كان - بعد كل شيء - فيلسوفا واقعياً.

آراؤنا الحالية في هذا الصدد أقرب إلى رأي توما الأكويني منها إلى مقولة غاليليو الشهيرة «لكنها تدور». أحد المرتكزات الأساسية لنظريتنا الحالية عن الجاذبية هو أن قوانين الطبيعة هي نفسها بصرف النظر عن نظام الإسناد reference system المستخدم، الذي يتضح منه أن معادلات الإسناد الصريحة للقوانين بسيطة جدا. من ناحية أخرى مثل هذا المعيار للبساطة ليس له معنى موضوعي حاسم، لأن الصورة الرياضية للقانون فقط هي التي تتصف بالعمومية والشمول، وهذه الصورة تطمر كل التمثلات الخاصة التي قد يرغب المرء في استخدامها لوصف الظواهر. إن الواقعية لن تكون أبدا بهذه الدرجة من البساطة، و«تفسيرها» للعالم يجب أن يكون على أي حال أقل مواضعة.

لنترك هذه الاعتبارات الحديثة جانبا ونعود إلى الفيزياء الكلاسيكية ونستمع إلى ما قاله نيوتن عن هذا الموضوع. في كتابه «برنكبيا» (*). قال إنه بمساعدة قوة الجاذبية [التثاقلية] التي اكتشفها يستطيع أن يفسر ظواهر في السماء وفي البحار، ولكنه لا يستطيع أن يحدد سببا معينا للجاذبية. وعلى الرغم من اقتناعه بأن مثل هذا السبب موجود، إلا أنه اختلق له فرضا، حيث إن أي شيء لا يمكن استنتاجه مباشرة من الظواهر يجب إدراكه على أنه فرض. إن نيوتن بامتناعه قد ابتعد عن الواقعية، تاركا إيانا مع تمثل للواقع عن طريق مبادئ من دون أسس أبعد. في الطبعة الثانية لكتابه «البصريات Optics» يقول إن المبادئ ما هي إلا ملخص مكثف للظواهر الملاحظة.

وعلى الرغم من ذلك، فإن نيوتن لا يستبعد نموا لاحقا لواقعية ما، هو فقط يحجم عن الاستطراد في الحديث، اعتقادا بأن المعرفة المباشرة للعالم المخلوق محفوظة للخالق.

لم يكن نيوتن حريصا على أن يتبع ديكارت، اعتقادا منه أن ديكارت يفترض فروضا حدسية لأنه قال: «بالنسبة إلى الفيزياء، سأكون كالذي لا يعلم من أمرها شيئا إذا لم أعرف كيف استطاعت الأشياء أن تكون بما هي عليه في

(*) «برنكبيا» Principia تعني المبادئ والاسم لكتاب نيوتن العمدة هذا هو: «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» [المترجمان].



الواقع من دون البرهنة على أنها لا يمكن أن تكون إلا كذلك». وأجاب باسكال عن ذلك غاضبا: «ينبغي على المرء أن يقول استقرابيا: العالم مشيد وفق الهيئة (الشكل) والحركة، لأنه حقيقي. ولكن أن تقول أي الأمرين وتنشئ كائنا كالآلة؛ فهذا عديم الجدوى وسخيف ومضحك، ولا يمكن أن يكون مؤكدا وعن كدٍ وجهد». وظل هذا الحكم القاطع للواقعية يهدد كل المحاولات اللاحقة.

كل شيء قد قيل إذن في القرن السابع عشر. ولكن المناقشة الكاملة والمقبولة عقلا للواقعية الكلاسيكية يمكن أن تستوعب المزيد، إلا أننا سوف نكتفي بذكر الاعتراض المفحم من جانب كانط: يجب أن تمر كل معرفة من خلال قالب أحكامنا التركيبية القبلية، أو تقييدات عقولنا، إذا جاز التعبير. يستحيل الوصول إلى النومينا Noumina (*)، أي الأشياء - في - ذاتها. وهذا لا يختلف كثيرا عن وجهة نظر بور التي صاغها بعد ذلك بكثير.

هناك الكثير الذي يمكن أن يقال عن القيمة التمثيلية للنماذج في فيزياء القرن التاسع عشر. خذ، على سبيل المثال، نموذج ماكسويل الميكانيكي الرائع للأثير، حتى وإن كان نموذجا لشيء ما غير موجود. كان يجب أن تحل مكانه مبادئ لا يمكن تلخيصها إلا في صورة معادلات. لن ننسى هذه الحادثة المهمة التي تبين أن الواقعية يمكن أن تنفع أحيانا كدليل أو مرشد في ميدان العلم، أما تلك العقلانية الصارمة أو الاتساق المنطقي فيمكن إلى حد كبير أن تكون لهما الكلمة الأخيرة.

يجب أن نتذكر أيضا الديناميكا الحرارية، وهي العلم الذي يخبرنا بما يمكن أن نقوله عن منظومة نجهلها عمليا. الميكانيكا الإحصائية الحالية أكثر واقعية إلى حد كبير، على الرغم من أن المرء ينبغي ألا ينسى أن لها جذورها في ميكانيكا الكوانتم. تأملات كل من ماخ وأفيناريوس (**) بشأن التناظر بين عملياتنا الذهنية والظواهر الفيزيائية توضح كذلك صعوبات الواقعية. لقد أوضحت العلوم المعرفية الحديثة كم تكون إدراكاتنا

(*) النومينون Nouminon، والجمع النومينا Noumina الشيء كما هو في ذات نفسه، أي حقيقته المطلقة التي لا تدرك بالحس ولا حتى بالحدس العقلي، وبالتالي كان في الفلسفة الكانطية هو ما يستحيل إدراكه ولا يمكن معرفته. النومينا تقابل الفينومينا أي الظواهر Phenomena القابلة للإدراك في حدود أو إطار مقولات العقل [المترجمان].

(*) النمساوي إرنست ماخ (١٨٣٨ - ١٩١٦) E. Mach والسويسري ريتشارد أفيناريوس (١٨٤٣ - ١٨٩٦) R. Avenarius كلاهما من غلاة المعنيين بالخبرة الحسية حتى تأدت بهما إلى المثالية الذاتية [المترجمان].

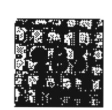


وتصوراتنا عميقة ودقيقة عندما تُحلَّل في أعضائنا الحسية قبل إعادة تركيبها في المخ. «صور» الأمس الشارحة فقدت اليوم الكثير من الوضوح الذي كانت عليه.

لقد وسّع العلم الحديث ميدان الواقعية إلى حد كبير. فنحن نعرف تركيب البلورة وتركيب جزيئات الحامض النووي (دنا DNA)، ونعتقد أننا نعرف التركيب الداخلي للشمس. لقد أجرينا ملاحظات ورصودات عديدة مباشرة، ولدينا صور ذهنية واضحة. في ما عدا الأسس الصورية فقط، كما هي الحال في ميكانيكا الكوانتم. هذا يؤدي إلى تمييز بين مفهومين للواقع: فهناك واقع عادي يشمل الأشياء التي نراها ونلمسها، بمساعدة الأجهزة غالبا؛ وهناك أشياء نعتبرها واقعية على رغم أننا لا نستطيع أن يكون لدينا صورة لها: كالذرات والجزيئات والمجالات المكماة quantized، فنحن لا نعرف إلا قوانينها التي لا تزال بمعنى ما ملخصا لوقائع تجريبية.

لقد اتخذ برنار ديسبانيا Bernard d'Espagnat الخطوة الجسور باعتباره أن مفهوم الواقع في مثل هذه الحالات يمكن أن يطبق مباشرة على قوانين الطبيعة ذاتها. هناك «واقعية الحادثات realism of accidents» للأحداث التي تحدث تقريبا بالمصادفة أو بظروف تصادفية وتكون صحيحة بالنسبة إلى الواقع العادي، لكن مداها لا يمتد إلى عالم الكوانتم ذي القوانين الشاملة. وإنكار المعرفة بالحادثات المجهرية [الميكروسكوبية] يحجب واقعها الذي لا يمكن التخلي عن أي زاوية من زواياه.

وأخيرا، ينبغي ألا ننسى أن الواقعية، في تاريخ الأفكار، كانت موضوعا مهما بين اللاهوتيين المتفلسفين. كان القديس أوغسطين مهتما بهذه المسألة فقط من حيث كونها تمهيدا للنظرية اللاهوتية، في حين أن بعض أسئلتنا الحديثة يمكن أن تذكرنا بلاهوتيين آخرين مثل دنيس الإيروبغتس Denys the Aeropagytus وماستر إكهارت Master Eckhart والقديس بونافنتورا ونيقولا القوساوي. كل هؤلاء سلموا تسليما بأنه يوجد إله، على أنه بالغ القوة والرهبة والجلال لدرجة تجعلهم يعتقدون أنه أسمى كثيرا مما يمكن أن يبلغه الوصف بالكلمات. إنه [تعالى] يفوق الوصف ويجل عن النطق به، الكلمة



الإغريقية لهذا هي apophatic (*) وهذا الاتجاه اللاهوتي يسمى لاهوت الإنكار أو اللاهوت السلبي apophatic theology (**). وربما تكون الواقعية في النهاية إبستمولوجيا تفوق الوصف.

فيزياء الكوانتم والواقعية

كان آينشتين مهموما على وجه الخصوص بافتقاد الواقعية في ميكانيكا الكوانتم. لماذا هذا الغياب للواقعية؟ سوف يكون جوهر الحجة الرياضية، التي لا يمكننا الإسهاب فيها، على النحو التالي. افترض أننا مهتمون بموضع جسيم ما عند أزمنة مختلفة. وفقا لميكانيكا الكوانتم، هناك دالة موجية تعبر عن احتمال وجود الجسيم في مكان معين. معادلة شرودنغر تصف تطور الدالة الموجية مع الزمن، وتعتمد الدالة الموجية عند الزمن 1 خطيا على الدالة الموجية عند الزمن الصفري 0 . افترض الآن أن الجسيم موجود واقعيا في مكان معين عند الزمن 0، على الرغم من أننا لا نعرف بالضبط أين يوجد. نحن أيضا لا نعرف سرعة الجسيم، لكن إذا كان الجسيم في مكان ما عند الزمن 0، فإنه (واقعيا) سيكون في مكان آخر عند الزمن 1. وفقا لنظرية لابلاس، وهي قاعدة أساسية للاحتمال في صورة مبرهنة للاحتمالات المُركّبة، نجدها تقول في هذه الحالة إن احتمال وجود الجسيم في مكان ما عند الزمن 1 هو الجمع الخطي لاحتمالات مواضعه الممكنة عند الزمن 0. المعاملات في هذه العلاقة هي احتمالات انتقال الجسيم من مكان إلى آخر بين الزمنين 0 و1.

(*) الكلمة الإغريقية apophatic تعود إلى فعل في اللغة الإغريقية يعني يتكلم بشكل واضح وصريح. وتعني أيضا ينكر ويرفض [المترجمان].

(**) الكلمة الإغريقية المذكورة apophatic قد أخذ منها المصطلح Apopasis ليدل على أسلوب منطقي يقوم على تعريف الشيء عن طريق تحديد ما لا يكونه هذا الشيء. إنه أسلوب فني مفيد، حين تكون ثمة احتمالات عمومية محددة، فنعمل على استبعادها جميعا، ما عدا احتمالا واحدا يغدو مثبتا من حيث إن جميع الاحتمالات الأخرى منفية.

وبالتالي أصبح هذا المنهج أساس ما يسمى باللاهوت السلبي أو لاهوت الإنكار Apophatic Theology. وهو اتجاه لاهوتي يرى أن الرب يجل عن الوصف، أي يعجز الإنسان عن هذا، فيعمل على وصفه تعالى عن طريق تحديد ما لا يكونه. مثلا الإنسان يعرف الوجود ويعرف العدم، لكن الرب يحل عن كليهما، فلا يمكن وصفه إلا بأنه متعال. او أن يعجز الإنسان عن وصف علم الرب، فيقول إنه تعالى ليس جاهلا، أي ينكر عليه الجهل لأنه لا يستطيع أن يثبت عليه علما محددا.

السؤال الآن: ألا يختلف هذا اختلافا بينا عن اللاهوت الإسلامي أي علم الكلام الذي جعل «الذات والصفات» من أمهات مشكلاته وموضوعاته. ألا يعني هذا أن الإسلام يجعل الإنسان والعقل الإنساني أكثر إيجابية وفاعلية [المترجمان].



والآن يأتي التناقض: الاحتمال يُعطى بمربع الدالة الموجية. إذن يستحيل، إلا في حالات خاصة جدا، أن توجد علاقات خطية آنية بين الدوال الموجية والاحتمالات جميعا. لهذا يبدو أن الفرض الأساسي، وهو تحديدا أن الجسيم موجود واقعيا في مكان ما، سيكون خاطئا.

هذه النتيجة السلبية مرتبطة أساسا بإمكان تعيين مسار للجسيم، وهذه هي النتيجة الرئيسية لعلاقات اللايقين لهيزنبرغ. ربما نضيف أن شروط الاتساق لغريفيث بالنسبة إلى التواريخ غالبا ما تنتقي بدقة «الحالات الخاصة» المذكورة أعلاه. سوف يكون لدينا المزيد الذي نقوله عن هذا في ما بعد.

بعض الفيزيائيين الذين أثارت الواقعية دوافعهم حاولوا أن يجدوا طريقا للخروج. ديفيد بوم، على سبيل المثال، قال إن كل جسيم له موضع محدد وكمية تحرك معينة، لكنه قال إن حركته تعتمد على دالته الموجية. وبهذا تتفكك الحجة السابقة، لأنه يجب الحذر، ليس فقط من الأحداث «الواقعية real» عند الزمن 0 والزمن 1 ولكن أيضا من الدالة الموجية «الحقيقية realistic». لايزال هذا الاتجاه في البحث فعالا، على الرغم من أنه لم يقدم إجابات بعد عن أسئلة من قبيل: هل الفوتونات واقعية؟ هل المجال الكهرومغناطيسي واقعي؟ لقد احتاجت ميكانيكا الكوانتم لعام واحد فقط، لكي تنتقل من إلكترونات كوانتية إلى إشعاع كوانتي، لكن هذه المشكلة المزعجة لا تزال باقية من دون حل لأكثر من ثلاثين سنة بعد محاولات بوم الابتدائية. أما مقاربة نلسون Nelson الاتفاقية العشوائية لميكانيكا الكوانتم ، حيث تتغير العلاقة بين الاحتمالات، فإنها لم تكن ناجحة بعد ذلك.

كان التتام هو الأساس لحجة بور في مواجهة التصورات الساذجة للواقعية. وكما أوضحنا في إطار التواريخ، فإن مبدأ التتام يبين أنه من الممكن أخذ بعض خصائص المنظومة المنطقية في الاعتبار والتعامل معها بطريقة متسقة منطقيا، إلا أنه غالبا ما توجد تواريخ متسقة مختلفة تماما تتعارض مع الأولى، كأن يتم مثلا إدخال خاصية كمية التحرك بدلا من خاصية الموضع؛ بتفضيل الأولى على الثانية. كلاهما وصفان صحيحان منطقيا، لكن كلا منهما يستبعد الآخر. وبناء على ذلك لا يمكن التحدث عن خاصية واقعية.



نحّى بور معظم الأسئلة المتعلقة بالواقع جانبا، على الرغم من أنه كان مصرا على الخاصة الموضوعية لميكانيكا الكوانتم. فقد قال ذات مرة: «ميكانيكا الكوانتم تتطلب نكران المثال الكلاسيكي للعلية والتخلي عنه، بالإضافة إلى مراجعة جذرية لموقفنا تجاه مشكلة الواقع الفيزيائي». وقال في مكان آخر: «في وصفنا للطبيعة ليس الغرض هو الكشف عن الجوهر الواقعي للظواهر، وإنما هو فقط تعقُب العلاقات بين الجوانب المتشعبة لخبرتنا». وكضربة أخيرة قال: «يجب ألا ننسى أبدا أن الواقع هو كلمة من كلمات الإنسان، تماما مثل موجة ووعي. هدفنا هو تعلم استخدام هذه الكلمات على نحو سليم – أي باتساق ووضوح كاملين».

حتى الآن، وجدنا أن العلاقات المتشعبة لخبرتنا متضمنة في مبادئ ميكانيكا الكوانتم. رأينا أيضا أن الخاصة الصورية للقوانين أظهرت وجها آخر للواقعية الفيزيائية، ألا وهو علاقتها بطبيعة الرياضيات. وهذا الجانب ربما يفتح الطريق لنوع ما من الواقعية الكبرى great realism، حيث تكون العناية بمجال العلم ككل، وبعض اعتبارات ديسبانيا تسير في هذا الاتجاه. أما مقاربتا بوم ونيلسون، اللتان تبحثان عن الوضع الأنطولوجي للحادثات العارضة فإنهما يمكن أن يُسمَيا الواقعية الصغرى petty realism (ليس المقصود التقليل من شأنها). تضمين الرياضيات داخل الواقع سوف يكون نوعا من الواقعية أكثر رحابة، وهو ما نعتزم تعضيده في ما بعد.

الواقع العادي

لقد عرّفنا الواقع العادي من قبل بأنه كل شيء نستطيع أن نراه أونلمسه. وهو يتكون من أشياء واضحة يمكن أن يشير إليها فتغنشتين عن طريق البناء الذي شيده، ويشير إليها وهو يقول لمساعده: «ذلك»، من دون أي لبس أو غموض.

هل الواقع العادي هو مكان في عالم تحكمه قوانين الكوانتم؟ الإجابة بلا ريب هي نعم. إن الأشياء التي نستطيع لمسها أو رؤيتها، حتى بأقوى المجاهر، تعتبر عيانية [ماكروسكوبية]. لقد رأينا من قبل كيف يتعامل الحس المشترك معها عند اعتبارها من وجهة نظر ميكانيكا الكوانتم. فضلا على ذلك، خصائص هذه الأشياء التي ندركها ذات مناعة وحصانة ضد التعبيرات الملتبسة المرتبطة بالتتام.



باستخدام مصطلحات أكثر فنية، نوضح ما يلي: على الرغم من أن القوانين الأساسية ميكانيكية كوانتية، فإن الخصائص والظواهر التي تحدث في العالم العياني يمكن صياغتها كلاسيكيا، ومن المنطقي أن نفعل ذلك (هذه النتيجة مستقرة تماما حتى الآن). عندما تتم ملاحظة ظاهرة ما أو رصدها فإننا نسميها واقعة fact (*). وبما أننا لسنا من أتباع الأنانة [الأنا وحدية] solipsists (**)، فإننا نسلم أيضا بوقائع عديدة موجودة في كل مكان على الرغم من أن أحدا لا يستطيع رؤيتها. ويقال عن الوقائع إنها حقيقية وصادقة.

من السمات الجوهرية للغتنا قدرتها على التعامل مع الإمكانات بالإضافة إلى الوقائع. الوقائع حقيقية والظواهر ممكنة، والعبارات الخاصة بها عندما تدخل في قضايا لفظية تكون إما صادقة وإما كاذبة. هذا المفهوم للصدق والكذب مشروع من وجهة النظر المنطقية، لأن العبارات الكلاسيكية التي لها معنى تكون واضحة غير ملتبسة، على الرغم من التتام. يمكن إثبات صدق بعضها من ملاحظة الواقعة فقط. على سبيل المثال، أنا أترك كتابا على الرف، أغلق الباب، أتأكد من أن أحدا لا يدخل الغرفة، لا يهب أي إعصار من خلال النافذة، وأستوفي عدة شروط مماثلة. أستطيع إذن أن أؤكد صدق مقولة أن الكتاب لا يزال على الرف على الرغم من أن أحدا لم يره -حتى هذا يمكن إثباته كنتيجة لقوانين الكوانتم. وبناء على ذلك لا توجد هناك أي مشكلة تتعلق بالواقع العادي.

(*) نلاحظ أن fact تعني واقعة وتعني أيضا حقيقة.

وبالمثل نلاحظ أن مصطلح truth وهو من المصطلحات العمدة في الفلسفة، وسوف يؤدي دورا كبيرا بعد صفحات قلائل... هذا المصطلح يعني - أو هذه الكلمة تعني - صدق وتعني أيضا حقيقة. فإذا كان الحديث متعلقا بالمنطق ونظرية المعرفة أو الإبستمولوجيا فإن truth تعني الصدق. أما إذا كان الحديث متعلقا بالميتافيزيقا أو الأنطولوجيا وما قاربهما فإن truth تعني الحقيقة. وغني عن الذكر أن مشكلة الصدق من أمهات مشاكل المنطق والإبستمولوجيا، والحقيقة من أمهات مشاكل الميتافيزيقا والأنطولوجيا. (سبقت الإشارة إلى هذا بشأن مصطلح truth في الكتاب الصادر عن سلسلة عالم المعرفة: كارل بوبر، أسطورة الإطار، ترجمة يمنى الخولي، ٢٠٠٣، ص ٢٦٥) [المترجمان].

(**) الأنانة [الأنا وحدية solipsists]، تعني أنني لا أعرف إلا ذاتي وأحوال ذاتي، فلا أستطيع إصدار الحكم إلا بوجودي أنا فقط ولا معرفة إلا المعرفة التي تتكون في ذهني ووعيي أنا فقط، حيث إنه لا سبيل موثوق به منطقيا للحكم بوجود الآخرين، فضلا على التثبت من معارفهم والتسليم بها. بعبارة أخرى تسلك الذات العارفة وكأنها هي وحدها الموجودة في العالم، وهذه أطروحة تأدت إليها بعض التحليلات الإبستمولوجية، ليس فقط المثالية المفرقة، بل إن بعضا من الغلاة التجريبيين والوضعيين المناطقة وجدوا أنفسهم إزاءها [المترجمان].



مجال الواقع العادي جديد بالاعتبار. معظم العلم يتعامل مع الأشياء العيانية وأجزائها العيانية، في ما عدا الفيزياء الجسيمية والذرية التي تشمل بعض الفروع الكيميائية. ينطبق الشيء نفسه على البيولوجيا، فجزيء الحامض النووي دنا DNA والبروتينات تعتبر عمليا عيانية. تخيل البعض أن هناك دورا ممكنا لأحداث الكوانتم في آليات الحياة، ربما في أدمغتنا، لكن مناقشة هذا ليس مكانها هنا، على الرغم من توافر شكوك قوية ضد هذه التأملات. على أي حال، ليست هناك حجج مقنعة لعدم التسليم بأن كل العلم، في ما عدا الأجزاء التي ذكرناها، يعتبر كلاسيكيا تماما وينتمي إلى الواقع العادي. وليس يقتضي الأمر إثارة أي توجس فلسفي.

المعقولية في مواجهة الواقعية

عندما نتعامل مع الأجسام المجهرية [الميكروسكوبية] يمنعنا التتام من المقاربة الواقعية. هذا المنع يشبه إلى حد ما اعتراض كانط على الواقعية، عندما أعلن الشيء - في - ذاته، النومينا التي لا تقع في متناول العقل الخالص. وبدلا من الحدود التي تفرضها المقولات والأحكام على العقل، تكون تقييدات المنطق هي التي لا مفر منها. إن شيئا ما واقعيا يكون بالضرورة شيئا ما صادقا.

من ناحية أخرى، يكمن الفرق المعنوي بين الواقع والصدق في أن الأول وجودي وصموت worldless، في حين أن مفهوم الصدق محكوم بالمنطق تماما. وهذا يعطينا الفرصة للإحاطة بمشكلة الواقعية. ووفقا للمنطق، فإن العبارات الصادقة تخضع لبعض الشروط العامة أو البديهيات. وتؤكد أهم هذه التقريرات أنه إذا كانت قضية ما «أ» صادقة وقضية أخرى «ب» صادقة، فإن القضية «أ وب» يجب أن تكون صادقة.

لا يمكن القول إن معظم العبارات في منطق الكوانتم صادقة بسبب التتام، حتى عندما تكون منتمية إلى عائلة تواريخ متسقة وناتجة منطقيا عن واقعة حقيقية. إلا أنه توجد عبارات عديدة يمكن أن توصف بأنها مُعْتَمَدة reliable (أوجديرة بالثقة في لغة ديسبانيا): يمكن أن نعول عليها دون خوف من الوقوع في تناقض منطقي. باختصار، مدى المعقولية (*) rationality أرحب من مدى الواقعية.

(*) العقلي rational هو ما ينتمي إلى العقل، أو يتفق معه، كالمعرفة والمبادئ العقلية. والمذهب العقلي rationalism هو القائل بسلطان العقل ورفع الوصاية عن الإنسان لهذا السبب. أما المعقولية rationality فهي القوة العاقلة، وكون الشيء عاقلا ومعقولا [المترجمان].



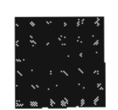
اعتبر، على سبيل المثال، القضية «أ» متعلقة بجسيم كوانتي عند زمن معين. هذه القضية تنتمي، مع القضية النافية لها، إلى عائلة تواريخ متسقة مشتملة على كل الظواهر ذات العلاقة (أو لنقل صراحة: كل المعطيات التجريبية التي يمكن ملاحظتها). ويعبر عن كل معطى تجريبي، أي واقعة، باعتباره خاصية ، فيكون من الواضح أن أحد هذه المعطيات، او عدة معطيات، يتضمن أو تتضمن، قضية ما «أ» طبقا لقوانين المنطق.

في الواقع العادي، عندما تكون الواقعة متضمنة عبارة، تكون العبارةُ صادقة بالضرورة. والأمر ليس كذلك في عالم الكوانتم، حيث غالبا ما يحدث أن تكون هناك عدة عائلات تواريخ متسقة، لها المعطيات نفسها، ويكون في بعضها قضية أخرى «ب» ناتجة منطقيا أيضا عن المعطيات. إذا لم تكن هناك عائلة متسقة تشتمل على كلتا القضيتين «أ» و«ب»، فإن التتام يمنعنا من اعتبار «أ» صادقة. بهذا لا يمكن إقرار القضية «أ» و«ب»، وبالطبع لا يمكن أن تكون صادقة. بملازمة فئة تواريخ متسقة، لن يكون هناك أبدا أي تناقض إذا عوّل المرء على قضية «أ» «كما لو كانت» صادقة. هذا هو المقصود بكون «أ» مُعْتمَدة أو جديرة بالثقة.

تجربة «ا ب ر»

لا تعجب لمثل هذا الموقف الدقيق المخاتل الذي سبب مناقشات لا حصر لها. لقد أسهم إطار التواريخ المتسقة وجهازها المنطقي في إيضاح هذه التواريخ، لكنه، بمعنى آخر، أدى أيضا إلى وضع أسوأ في ما يتعلق بالواقعية، لأن كل شيء محدد بإتقان، إلى درجة أنه لا يوجد أي طريق للخروج. في العام ١٩٣٥ اقترح آينشتين وبودلسكي وروزن (والكنية المختصرة لأسمائهم الثلاثة معا «ا ب ر APR») طريقة لإدخال عنصر الواقعية في ميكانيكا الكوانتم. تجربتهم الشهيرة جديرة بالمناقشة. (سنفترض أن لدى القارئ دراية معينة بالمفاهيم المتضمنة، لأن الشرح الكامل سيكون مطولا جدا).

تجربة «ا ب ر» في التجربة التي قدمها ديفيد بوم، هي كالآتي «يتحلل جسيم Q إلى جسيمين P و'P لفهما – ½ في حالة لف كلي 0 . تقاس مُركّبة اللف P على طول الاتجاه n عند زمن *t*. وبالمثل تقاس مُركّبة اللف 'P على طول الاتجاه *'n* عند زمن آخر *'t*. نتائج القياس، أو بصيغة أدق، المعطيات



المناظرة، هي وقائع صريحة واضحة. والأسئلة التي تطرحها تعنى بلف الجسيم 'P عند زمن يلي امباشرة، عندما يقاس بالفعل لف الجسيم الآخر، ولم يدخل 'P بعد إلى نبيطة القياس. ماذا يمكن أن يقال؟

وفقا للعلماء «ا ب ر»، مُركّبة لف الجسيم 'P على طول الاتجاه *n*، بين الزمنين t و't، يجب أن تكون معاكسة للمُركّبة المقيسة للجسيم P. هذه هي القضية «أ» في مناقشاتنا السابقة، وهي تنتمي إلى إطار منطقي متسق تكون متضمنة فيه عن طريق قياس P. في لغتنا المنطقية تكون القضية «أ» مُعْتمَدة على الأقل. وقد اعتبرها «ا ب ر» صادقة، مبررين ذلك بأن هذه الخاصية للجسيم معروفة من دون إقلاق للجسيم 'P بأي طريقة، وأسموا هذا «عنصر الواقع»، ومضة شيء ما واقعي وسط كوانتات.

بيد أن عنصر الواقع هذا لا يمكن أن يكون صادقا للسبب التالي: لنأخذ في الاعتبار قضية أخرى «ب» تقضي بأن مُركّبة لف الجسيم 'P على طول الاتجاه '*n* بين الزمنين *t* و'*t* تساوي فعلا القيمة التي ستقاس بعد ذلك عند زمن '*t*. أيا ما كان لدينا لمصلحة صدق «أ» فإنه لا يزال معمولا به بالنسبة إلى القضية «ب». إنها تدخل في إطار منطقي متسق تنتج فيه منطقيا من المعطيات عند زمن 't. القضية «ب» مُعْتمَدة تماما مثل «أ»، وليس هناك أي إطار، وأي عائلة تواريخ متسقة تتضمن كلتيهما. لهذا فإن القضيتين «أ» و«ب» لامعنى لهما. ولا يمكن لأي منهما أن تكون صادقة لأنهما على قدم مساواة. عنصر الواقع الذي اقترحه «ا ب ر» إذن ليس له واقعية أكثر من أي قضية كوانتية أخرى.

يمكن إيضاح الموقف السابق إيضاحا مبرزا في صورة مناظرة بين شخصين متلازمين لا يفترقان، هما الفيزيائيان آليس وبوب، كل منهما قام بإجراء أحد القياسين. عندئذ يستطيع أي منهما أن يؤكد أنه/أنها يعرف/تعرف شيئا ما عن لف الجسيم 'P بين الزمنين *t* و '*t*. «أنا أعرف مركبته x»، «إني أنا أعرف مركبته z».وبما أن هاتين العبارتين متعارضتان، وفقا لميكانيكا الكوانتم، فإن الفيزيائيين واصلا المحاجة والحجاج. كل منهما يستطيع أن يثبت عدم وجود خلل منطقي في استدلاله/استدلالها، وأن المنطق يقف في صفه/صفها. «أنا أعرف كيف أفكر. يا عزيزي، وأي شخص في معملي يمكن أن يشهد لمصلحتي». لا يمكن لأي منهما أن يتقبل



وجهة نظر الآخر لأنها تتعارض معه. «انظر، حيث إنه من الواضح تماما أني على صواب». إن فريغه، الذي عرف مغزى عالم المقال في المنطق، سوف يدينهما معا بسبب جهلهما، فهل كان فريغه هو القاضي الرابع في هيئة محكمة هاديس (*).

وصف شتينمانّ O. Steinmann بطريقة هزلية الحالة التي يكون فيها كلا الاتجاهين n و n' واحدا. عقدت على الأرض مسابقة يانصيب بين الكواكب بطريقة الكوانتم. تم إنتاج زوج من جسيمات «ا ب ر» على كوكب الأرض عند زمن 0 [صفر]، وأبقي على الجسيم P' في مصيدة trap بهدف قياس مُركّبة لفه على طول n عند زمن t'. يراهن الناس على نتيجة هذا القياس. يقرر أحد سكان زحل الماكرين أن يقوم بعملية خداع: يمر جسيم P قريبا، فيقيس خلسة مُركّبة لفه في الاتجاه n عند زمن t قبل t'. هو عندئذ يعلم يقينا ما سوف تكون عليه النتيجة على الأرض، يراهن على ذلك، ويكسب بالطبع. يقول شتينمان إن هذا شيء واقعي، وإلا فما الذي يمكن لأن يكون أكثر واقعية من الحصول على نقود؟ يخامر المنظمين لليانصيب شعور بوجود غش أو خداع، لكنهم يقفون مكتوفي الأيدي ولا يستطيعون عمل أي شيء، والسبب هو أن الجسيم P مسّ كوكب زحل متأخرا جدا، لأن إشارة ضوئية أرسلت من زحل لتصل إلى الأرض قبل السحب. المنظمون، المعجبون بتجربة آينشتين، لا يمكنهم الادعاء بأن معلومات سرية قد استُخدمت، ويجب أن يدفعوا كل ما عليهم.

هل يوجد في هذه الحالة ما يخالف الشروط النسبوية المقيدة؟ الجواب هو: كلا، لأن هذا الشخص الزُحلي كانت لديه معلومة مسبقة، وهي تحديدا عن الكيفية التي أُنتج بها زوج من الجسيمات عند زمن 0 [صفر]، بالإضافة إلى معلومات عن حادثة مستقبلية، وهي تحديدا الاتجاه n الذي يُجرى فيه القياس على الأرض. هذا أمر جوهري، وتكمن الحيلة في أن القياسين مترابطان بقوة على الرغم من عشوائية نتيجة كل منهما. يجد البعض صعوبة في استيعاب القول بأن جسيمين تفصل بينهما مثل هذه المسافة الهائلة يمكن أن يكونا على درجة عالية جدا من الترابط، لكن هذه هي حقيقة الحياة.

(*) في أول هامش وضعناه، وكان على التوطئة، قمنا بتعريف هاديس Hades وهو العالم السفلي المظلم في الأساطير الإغريقية، الجحيم أو مثوى الأموات [المترجمان].



بيل وأسبكت

ربما يتساءل بعض القراء بدهشة وتعجب عن السبب في عدم ذكر شيء عن عمل جون بيل J. Bell، وقد حان الوقت لاستدراك ذلك، على الرغم من أننا سوف نفترض مرة ثانية أن القارئ يتمتع بالخلفية اللازمة للبحث عن الإيجاز.

لم يكن جون بيل سعيدا بأحوال الواقع والواقعية في ميكانيكا الكوانتم. هل تخفي ميكانيكا الكوانتم وراءها شيئا ما حقيقيا؟ إذا كان الأمر كذلك، فإن بيل يقدم بعض الافتراضات المعقولة جدا بشأن تلك الخصائص والقسمات الخفية. فهي، مثل أي شيء آخر في الفيزياء العادية، ينبغي أن تكون قابلة للوصف عن طريق الأعداد، أي عن طريق البارامترات الخفية. ولأن القياسات الكوانتية تظهر نتائج عشوائية، فإن البارامترات الخفية المصاحبة لجسيمات مقيسة يجب أن تكون عشوائية، على أن تخضع في الواقع لحساب الاحتمال الكلاسيكي، مثلما تكون الحال مع أي شيء حقيقي غير معروف تماما.

أخذ بيل في اعتباره تجربة «ا ب ر» كما وصفناها باتجاهين n وn' مثلما سبق. الزمن غير ذي صلة في هذه الحالة، ومن الممكن أن نأخذ $t = t'$ (يجري القياسان على الجسيمين عندما يكون كل منهما بعيدا عن الآخر تماما، وعند الزمن نفسه أساسا). لتكن A(B) هي نبيطة قياس مُركّبة لف الجسيم P(P') في الاتجاه (n') n. وضع بيل فرضية قابلية الانفصال بين النبيطتين، حيث افترض أن نتيجة قياس P بواسطة A تعتمد حتما على اتجاه n والبارامترات الخفية لكل من P وP'، ولا شيء غير ذلك. كما وضع فرضية مماثلة تتعلق بنتيجة قياس P' بوساطة الجهاز B. وهنا ينبغي توضيح أن المرء يفترض صراحة أن النتيجة التي تعطيها النبيطة A لا تعتمد على n'، بمعنى أن النبيطتين يمكنهما أن تتجاهل إحداهما الأخرى، حتى لو كان الجسيمان مترابطين كلاسيكيا. وكمثال للترابط بين أجسام واقعية تأمل جزأين من صاروخ مستقر بعد أن يتم الفصل: إذا لف أحدهما في اتجاه، فإن الآخر يلف في اتجاه معاكس. هذا هو نوع الترابط الذي يمكن افتراضه.

انطلاقا من هذين الفرضين، وباستخدام نظرية الاحتمال، حصل بيل في عام ١٩٦٤ على بعض المتباينات inequalities لدمج نتائج كلا القياسين، متضمنة الاتجاهين n و n'. يكمن جمال هذه النتيجة في أن هذه المتباينات



لا تكون دائما مستوفاة بتنبؤات ميكانيكا الكوانتم، ويعزى سبب هذا التناقض إلى الوصف الكوانتي لحالة جسيمين. وهذا ما يسمى حالة التشابك أو اللاانفصالية التي يصعب تمثل علاقاتها الترابطية على نحو تام بواسطة حساب الاحتمال الكلاسيكي. وبهذا تكون نتيجة بيل قد فتحت الطريق أمام إمكانية الاختبار التجريبي لوجود نوع معين من الحس المشترك بالواقع.

أجرى التجربة عدة مجموعات من الباحثين، وأحرزت أكثر النتائج دقة في عام ١٩٨٧ على أيدي آلان أسبكت A. Aspect وفريقه البحثي. كان الجسيمان فوتونين منبعثين من الذرة نفسها، وقياسات اللف تعادل قياسات الاستقطاب بالنسبة إلى الفوتونين. كانت النتيجة واضحة المعالم من جانب ميكانيكا الكوانتم الخالصة والصارمة في مقابل الواقع الخفي القابل للانفصال.

يجب علينا أن نقول بضع كلمات عن عدم القابلية للانفصال nonseparability. فهل تعني أنه قد يحدث لخصائص نظام كوانتي ما أن تكون متضايفة لبعض خصائص نظام آخر بعيد. وهذا يعني، في مقاربة التواريخ المتسقة، أن الاتساق يتطلب تضايفا سليما بين المعطيات عندما تؤخذ المنظومتان في الاعتبار معا إلى جانب نبائط القياس. وما قيل عن قياس الجسيم P لا يكون اختياريا تحكميا إذا ما تم فعلا انتقاء التقرير الخاص بقياس الجسيم، على الأقل عندما يكون الاتجاهان *n* و*n'* متوازيين. هذا هو الشرط الأساسي لمنطق الكوانتم، الأمر الذي يتعارض مع فرضية بيل، حيث إن اختيار الاتجاهين، بالنسبة إلى نبيطتين كلتاهما بعيدة تماما عن الأخرى، يجب أن يؤخذ في الحسبان.

حدث جدل لا مبرر له بشأن عدم القابلية للانفصال. فقد رآها البعض تعني أن ميكانيكا الكوانتم نظرية كلانية holistic: أي أنها لا تستطيع أن تتحدث إلا عن الكون ككل، وليس عن أجزائه المنفصلة، حتى إن كان أحد هذه الأجزاء لا يتأثر مع بقية العالم. وهذا بمنزلة إنكار لاعتقادٍ أساسي في العلم يقضي بإمكانية دراسة جزء منفصل من العالم بمعزل عن الاعتبارات الأخرى. إذا كان أصحاب هذا المنحى على صواب، فإنه بالطبع يكون نقدا قاسيا، لأن العلم مبني على دراسة الأجسام المحدودة، وهذه هي الصورة المهاودة للردية [الاختزالية reductionism].



لحسن الحظ، مثل هذه النتائج المبالغ فيها غير صحيحة. ذلك لأن المرء بإمكانه أن يصف استخدام أي منظومة معزولة عن العالم بدرجة كافية، وقد تشمل هذا المنظومة العديد من النبائط التجريبية اللازمة. لهذا فإن عدم القابلية للانفصال تعني أنه في بعض الحالات الخاصة يمكن لمنظومتين لا تتبادلان تآثرا مباشرا أن تظهرا علاقات ترابطية في نتائج قياساتهما. ويمكن تحديد هذه الحالات دائما بأن يؤخذ في الاعتبار جيدا نبيطة الإعداد والتحضير. وعلى أي حال، فإن أي واقعة تلاحَظ في أحد النظامين لا تتغير بسبب وجود النظام الآخر. فالقياسات متضايفة، لكن من ذا الذي يهتم ويعنيه الأمر؟ هذا ليس تأثيرا مباشرا.

عدم القابلية للانفصال تعادل رياضيا حقيقة مفادها أن الدالة الموجية لعدة جسيمات ليست عموما حاصل الدوال الموجية المستقلة لكل جسيم. وهذه على وجه الخصوص هي حالة الجسيمات المتطابقة، الإلكترونات أو الفوتونات، مثلا، التي يجب أن تكون الدالة الموجية الشاملة بالنسبة إليها تماثلية أو لا تماثلية طبقا لمبدأ باولي وبناء على هذا، فإن عدم القابلية للانفصال تحتل منزلة معينة بين أعمق مبادئ نظرية الكوانتم، وهي تفيد بدرجة بالغة القيمة والأهمية عند التعامل مع ما يثار من ارتيابات فلسفية بسيطة.

يعزى إلى عدم القابلية للانفصال، أو مبدأ باولي للإلكترونات، تفسير السبب في صلابة منضدة مصنوعة من الخشب أو الصلب، والسبب في ربط الذرات المكونة لجزيء ما، والسبب في استقرار المادة وعدم انهيارها إلى لا شيء، بالإضافة إلى العديد من التأثيرات الأخرى التي يصعب حصرها. من ناحية أخرى، يعتبر عدم قابلية الفوتونات للانفصال ضرورة لازمة لعمل الليزر. أما أولئك الذين يفضلون أن تكون الطبيعة قابلة للانفصال، فعليهم أن يمكثوا بعيدا عن الملاهي الليلية. إشفاقا عليهم، إذا كانوا قد سلكوا الطريق الذي يسيرون فيه، فذلك دليل على عدم وجودهم.

تعليق أخير، يبدو أن افتراضات بيل معقولة جدا للوهلة الأولى، لأنها تصلح لوصف الأحداث الكلاسيكية العشوائية. ويمكن إثبات الصحة الكلاسيكية لهذه الافتراضات بالوسائل نفسها المستخدمة لإحياء الحس المشترك من فيزياء الكوانتم، وهي تبدو معقولة لأنها تنتمي إلى الحس



المشترك. وإذا أمكن دحضها بالاختبار التجريبي، فذلك فقط لأن الحس المشترك لا يمكن مد نطاقه ليشمل نظاما كونيا خالصا وأصيلا. هذا كل ما في الأمر.

مجادلات حول التواريخ

ربما سمع بعض القراء أن هناك نقدا في أدبيات الفيزياء موجها إلى التواريخ المتسقة، ونظرا إلى أن جزءا كبيرا من هذا الكتاب اعتمد على هذه المقاربة، فإنه يجب إعادة طرح القضية بوضوح.

قد يساعد السرد الموجز للأحداث الرئيسية على أن يبرزها إلى بؤرة الاهتمام. كان روبرت غريفيث أول من اقترح التواريخ المتسقة في العام ١٩٨٤، ولاحظ مؤلف هذه السطور خلفيتها المنطقية في العام ١٩٨٨. وبعد ذلك بعامين قام موراي جيلمان وجيمس هارتل بإعادة صياغتها طبقا لمفهوم التساوق المفقود. وجاء النقد أولا على يد ديسبانيا بطريقة ملتوية أو غير مباشرة إلى حد ما. فقد أوضح أن قراء هذه الأوراق ربما يتكون لديهم الانطباع بأن التواريخ المتسقة جددت الواقعية الساذجة في عالم الكوانتم - من دون التأكيد على أن الكُتّاب زعموا شيئا من هذا القبيل، لأنهم لا يملكون ذلك. والحقيقة أننا كنا في الوقت نفسه مشغولين جدا باكتشاف معقبات النظرية الجديدة التي تثير التساؤلات في شأن مسائل فلسفية.

ومع ذلك، فإن ديسبانيا كان محقا في تذكيرنا بأهمية مثل هذه القضايا. ولأسباب أصبحت واضحة من مناقشاتنا السابقة، أثار مشكلة الصدق truth، وسأل: «ما الذي ينبغي وصفه بأنه صادق داخل إطار التاريخ؟» وبدأ هجومه بالإشارة إلى رابطة واهية: فقد لاحظ أن غريفيث ربما يكون قد تعجل - إلى حد ما - في استخدام كلمة «صادق» في بعض المواضع، بينما كان أومنيس - مؤلف هذه السطور - حريصا بشيء من الترقب على عدم استخدامها مطلقا.

وفي محاولة لحل المشكلة، انتهيتُ أنا إلى صياغة مفهوم لقضايا يمكن التعويل عليها منطقيا على رغم أنها ليست قضايا صادقة، وهو مفهوم اعتمده ديسبانيا نفسه، الذي وصف هذه القضايا بأنها جديرة بالثقة (وليست بالطبع صادقة على طول الخط). ومن سوء الحظ، بسبب الاندفاع الزائد نحو وجود حل للمشكلة الملقاة على عاتقي، اقترحتُ معيارا لتحديد الخصائص الصادقة

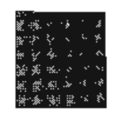
في ميكانيكا الكوانتم. وقد بدا أنه معتدل، نظرا إلى أن العبارات الصادقة التي يجيزها، إلى جانب الوقائع، لم تكن إلا نتائج لقياسات كوانتية وخصائص كلاسيكية لأجسام عيانية [ماكروسكوبية] عندما لا تكون قيد الملاحظة.

كان المعيار الذي اقترحته خاطئا، على نحو ما أوضح فاي دوكر Fay Dowker وأدريان كنت Adrian Kent، حيث زادت الحصائل التي توصلا إليها بعض الشيء على نتائجها، لأنهما لم يستخدما إلا وسائل جبرية لا تتيح لهما أن يوضحا تماما تأثير التساوق المفقود ومميزات العبارات الكلاسيكية. لكنهما على الرغم من ذلك قدما شيئا أساسيا لا أملك إزاءه إلا أن أتراجع وأسحب المعيار المذكور عن طيب خاطر.

ما الذي يمكن قوله ليكون صادقا؟ الوقائع صادقة طبعا، لكن ماذا غير ذلك؟ إن العقبة الكبرى هي التتام، أو تعددية الأطر المنطقية المتسقة التي تصف الأنظمة المجهرية [الميكروسكوبية]. إن الصدق ينبغي أن يكون محصنا ضد كل أشكال اللبس والغموض المتعلقة بالتتام. فضلا على ذلك، عندما تضاف قضية صادقة على الوقائع، وتستنتج منها منطقيا، فلا يمكن أن تكون هناك أي قضية أخرى متضاربة معها. ومن ثم فإن الحصائل المتعلقة بقضايا موثوق بها «ليست صادقة مع أنها ليست غير صادقة» تظل صائبة، على أن الكل يوافق فعلا على ذلك.

أما الخصائص الكلاسيكية لجسم عياني ليس قيد الملاحظة فإنها لا تزال صادقة داخل إطار القضايا الكلاسيكية (المستنتجة من نظرية الكوانتم). ونضيف أنه يجب ألا يُجرى أي قياس كوانتي أو أي شيء مماثل، لكن هذا يمكن التعبير عنه باعتباره شرطا لعملية التحضير والإعداد بدلالة التواريخ.

ماذا عن قضايا الكوانتم الأصيلة الخالصة؟ لا يمكن القول إلا بصدق عدد قليل جدا منها فقط. فهي لا تشمل حتى نتائج القياس كخاصة واقعية للمنظومة المقيسة في الوقت الذي قيست عنده، اللهم إلا في حالات قليلة. وغالبا ما يُردّ الصدق إلى خاصة محددة لمنظومة مقيسة ناتجة من عملية قياس أجريت على الفور بعد تأثير كامل لتساوق مفقود في نبيطة القياس. حتى تلك الخاصية ينبغي أن تكتسب تجويدا وتوصيفا: يجب أن يكون القياس «مثاليا» بحيث لا يفسد ما يسمى بالحالة الذاتية eigenstate للشيء المقيس الذي يمكن ملاحظته. هذا يعني أن القياس المثالي يعطي النتيجة نفسها مرتين إذا تم



إجراؤه بتتابع فوري. وربما يبدو كنتيجة متواضعة أنها تنسحب على الحالات التي تستخدم فيها قاعدة رد الدالة الموجية عمليا لسنوات عديدة في مجال الفيزياء، أو، بعبارة أخرى، في أساسيات تأويل كوبنهاغن (*) للقياسات.

تقضي النتيجة المستخلصة إذن بأنه ليس هناك الكثير الذي يوصف بالصدق في عالم الكوانتم بالنسبة إلى الأحداث المنفردة. ويظل الواقع مُحَجبّا، حسب تعبير ديسبانيا. أما القليل الذي يوصف بالصدق، أو بأنه حقيقي، فهو كافٍ لعمل الفيزياء إذا ما أصر المرء على تقديم كلمة «صادق». والحق أن هذه الكلمة لا تحتاج إلى أن تندرج في مفردات الفيزياء، اللهم إلا فيما يتعلق بالوقائع.

هل هذا يعني أن التواريخ قد عانت عصفا شديدا لكي لا تنجح في الوصول إلى الواقعية؟ مطلقا: فالواقعية لم تكن هدف هذه التواريخ التي لا تدعي ألبتة أنها تحيي شيئا من الواقعية الساذجة. ما هي إذن؟ الجواب بسيط: إنها منهج (**). لقد استخدمتُ التواريخ باعتبارها منهجا تربويا عندما علّم رئيس الملائكة الملاك الصغير الفيزياء. والتواريخ، كما هي الحال بالنسبة إلى فيزياء الإنسان، توفر منهجا لتنظيم - وتأويل - موضوع ما يمكن من دونه أن يتحول بسهولة إلى متاهة، مثلما حدث كثيرا في الماضي. هذا المنهج يقدم المنطق في موضوع يحتاج كثيرا إلى المنطق. إنه منهج للبرهنة: فهو لا يضيف شيئا إلى المبادئ الأساسية للنظرية التي تؤكد التجارب كلا منها على حدة، ولا تستخدم هذه المبادئ، مثلما هو متوقع من كل منهج يتم فرضه واقتراحه.

(*) تفسير كوبنهاغن قلعة ذات اعتبار وحيثية في فيزياء الكوانتم. إنه تفسير أخرجته جماعة من ألمع الفيزيائيين الشبان من جنسيات مختلفة، منهم هيزنبرغ نفسه الألماني صاحب مبدأ اللايقين أو اللا تعين، وبول ديراك الإنجليزي صاحب نظرية ضديدات الجسيمات الأولية... كانوا شبانا آنذاك، أي قبل الحرب العالمية الثانية، حين ذهبوا على نفقة المليونير روكفلر، في شبه معسكر في كوبنهاغن ليعملوا سويا. وقد خرجوا بتفسير لنظرية الكوانتم يؤكد طابع الاحتمال واللايقين واللاحتمية فيها، وأنها انفلاقة بائنة عن الفيزياء الكلاسيكية. وفي كتابه «المشاكل الفلسفية للعلوم النووية» [ترجمه إلى العربية العالم الكبير المرحوم الدكتور أحمد مستجير] يصف هيزنبرغ أيام كوبنهاغن بأنها أمتع أيام عمره [المترجمان].

(**) أنا أعبر هنا عن وجهة نظر أكثر اختزالية لقوة التواريخ، وهي تتحلى بفضيلة تحاشي الجدال والسجال. ربما تكون للتواريخ قدرة أكبر مختزنة يمكن استخدامها في كوزمولوجيا الكوانتم، مثلا. إن الزمن فقط هو الذي سوف ينبئ عن هذا. وينبغي ان يكون واضحا أن القيمة المحدودة التي أضفيها هنا على التواريخ لن تقيد عمل الآخرين في هذا المجال الذين ينتظر منهم المزيد [المؤلف].



لا يوجد منهج يزعم احتكار الصواب، لأن النتائج نفسها يمكن التوصل إليها بمناهج أخرى. أما النتائج التي يقوم عليها والنتائج التي يوصل إليها فهي فقط مناط الأهمية والاهتمام. وهل يهم ما إذا كانت المبرهنة قد أُثبتت بمنهاج جبري أو تحليلي مادامت مثبتة؟ لا يوجد حتى الآن منهج بلغ مدى أو توصل إلى إثباتات وبراهين أساسية أكثر مما تحقق في منهج النظريات المتسقة. ولا يمكن لمناهج أخرى إلا أن تفيد في الوصول إلى النتائج نفسها (بالضرورة). وبالمناسبة، العديد من هذه الاستنتاجات هي تخمينات للفيزيائي نيلز بور بفضل عبقريته الفذة، من دون الاعتماد على الوسائل الرياضية الفعالة أو إرشاد بناء مراحلي (*) متاح للاحقين. ولعله اكتشفها من خلال تأمل استمر طوال الحياة يستحق الإعجاب من جانبنا. إن منهج التواريخ يتيح للمرء أن يثبت بالبرهان، أكثر من أن يخمن أو يخوض في شرح كتابات بور إلى ما لانهاية. لقد حلّ التأويل على نظرية مراحلية عادية يمكن لأي شخص أن يختبرها. كما أوضح أن الاحتجاجات المريبة ضد السخرية التي اصطنعها بور، مثل قيامه بالفصل التعسفي بين فيزياء الكوانتم والفيزياء الكلاسيكية، ليست ضرورية، وإزالتها تكشف لنا عن آفاق أرحب.

التعليق الوحيد الذي نود أن نضيفه يتعلق باختيار الخصائص التي تدخل في الاستخدام العلمي للتواريخ. هذا الاختيار كان محل نقد بسبب عشوائيته، لكن تبريره ممكن بسهولة ويسر: فالفيزيائي في حاجة إلى أن يصف ما يفعله بكلمات وعبارات بسيطة. إنه يحتاج إلى استخلاص نتائج من ملاحظات بمساعدة المنطق. وهو يرغب في ترتيب بعض الخطوات بشكل يساعد على البحث مباشرة باستخدام الوسائل الرياضية للنظرية. أي الخصائص ينبغي اختيارها؟ فقط تلك التي تكون أكثر ملاءمة للغرض المتاح. هناك أوصاف أخرى عديدة يمكنها أن تعمل أيضا، وجميعها مختلفة بسبب التتام. سوف يؤدي بعضها إلى النتائج نفسها على نحو جيد، البعض الآخر لا جدوى منه، ليس بالضرورة أن يكون خاطئا، لكنه مجرد ثرثرة لا تعني شيئا. ولمَ الانزعاج والقلق؟ إن طرح أسئلة عن وجود تواريخ بلا فائدة يكافئ إجراء حسابات لا تساعد على حل مشكلة. وأنسب مكان لها هو سلة المهملات.

(*) المقصود بتعبير مراحلي discursive: استدلالي منطقي أي يتم على مراحل وخطوات، وليس حدسا يتبدى للذهن بضربة واحدة [المترجمان].



نحو واقعية أرحب

ما الذي ينبغي أن نستخلصه في الخاتمة؟ إن الواقعية، بقدر ما تعني - تحديدا - أن العالم لا يعتمد علينا في وجوده، بقدر ما يُستعصى الهجوم عليها. فعندما تقول إن العالم المتغير دائما الذي تدركه حواسنا هو عالم حقيقي، فإن هذا يكون مجرد تعريف.. تعريف لإدراك ذلك العالم الواقعي. وإذ يقول المرء إن الواقعية العادية تتفق مع الحس المشترك، فإنه لا يفعل أكثر من إقرار ملاحظة ممعنة في القدم. ولا تضيف ميكانيكا الكوانتم إلا أن قوانينها لا تعترض على مثل هذه الملاحظة، وبمعنى ما تجعلها أكثر عمقا، بالانسجام مع القوانين الكونية. ويا له من شيء عجيب بالنسبة إلى فلاسفة اليونان السابقين على سقراط، أولئك الذين التقينا بهم في هاديس.

من ناحية أخرى، تتعطل لغتنا ورؤيتنا ومبادئ فلسفية عديدة ومألوفة استنتجها الإنسان بعجلة من الحس المشترك، وذلك عندما يواجهنا العالم الذري. ذلك أن قوانين هذا العالم واقعية بمعنى من المعاني، لأن نتائجها أثبتت دائما أنها صحيحة. فهل يا ترى بلغنا شكلها النهائي أم أن لها أوجها أخرى لم نكتشفها بعد؟ أيا ما كان الأمر، فإنه لا يوجد سبب لأن نتوقع قوانين أشمل تكون صورية من القوانين الحالية. ونحن على أي حال باقون على الهدف الفلسفي القوي المتمثل في الحصول على مصطلحات لعلم صوري، والتمكن من فهم معناه.

مهمتنا التالية سوف تكون محاولة الاقتراب من واقعية أرحب لمواجهة العلم الصوري والرياضيات معا في جرأة وجسارة. هذه هي الواقعية الثنائية birealism التي سوف نقترحها في الفصل الأخير من هذا الكتاب، وربما تكون خطوة بالغة الجرأة بالنسبة إلى الفيزيائي. قال برتراند رسل ذات مرة إنه ليس هناك كتب فلسفية أسوأ من تلك التي صنفها علماء مأسورون بحب العصور الوسطى للفلسفة (*). كذلك يقال في أغلب الأحيان إن العلم في حد

(*) المقصود بحب العصور الوسطى للفلسفة هو حب الفلسفة بوصفها خادمة للاهوت ومثبتة لأطروحات الدين، وبالتالي يقصد رسل أنه ليس ثمة ما هو أسوأ من أن يحب العلماء الفلسفة بوصفها خادمة للعلم ومثبتة ما يراد من أطروحاته. إن أروع ما في هذا الكتاب - وروائعه كما رأينا جمة - هو أنه يقدم الفلسفة والعلم كقرينين وصنوين لا يفترقان، ولا يفهم أحدهما حق الفهم بمعزل عن الآخر [المترجمان].



ذاته لا يستطيع أن يولد أي نتائج جديدة في الفلسفة، ويقرر فقط ما إذا كانت قضايا فلسفية معينة صحيحة أم لا، ويصدق هذا بالتأكيد على فرع محدد من فروع العلم. وعلى أي حال، فإن صميم وجود العلم، ودرجة شموليته وعموميته، وبعض خصائصه ومميزاته، تثير أسئلة جلية عن طبيعة فلسفية يستطيع العلم أن يقترح لها إجابات تجريبية، باعتبارها موضوعا كليا للتأمل.

لن نذهب بعيدا جدا في اتجاه الواقعية الرحبة أو الكبرى لنقدم رؤيتها الآن من منظور ناءٍ، وإنما سوف نحدد بعض الدروب الممكنة، إذا جاز التعبير. والأفضل أن يتابع ذلك فلاسفة حقيقيون. هدفي أن أقدم لهم بضعة تلميحات لرحلة طويلة وآسرة، وأن أدعوك عزيزي القارئ إلى الاستمتاع ببهجة التفكير والتأمل.



الجزء الرابع

وضع التساؤل المطروح والمنظورات

13

بداية مستجدة

تقرير مبدئي

لقد كانت رحلة طويلة حقا، وعلى الرغم من أننا قطعنا طرقا مقتضبة بعض الشيء، فإنها لم تنته بعد، ولدينا أسباب وجيهة تماما لكي نواصل المسير. ولا نستطيع أن نغض النظر عن الإشارات المتناثرة على طول ذلك الطريق الدالة على الوجود الفعلي لفلسفة جديدة للمعرفة.

لنستهل المسير بمراجعة الموقف. لقد بدأنا من وضع لمعرفة مألوفة لكل شخص ويمكن أن نعيد تأطير خطوطها العريضة. إنه أولا وقبل كل شيء موقف وجودي حيث يقتحم الجنس البشري الزمان والمكان، والمادة أيضا. إن البشرية على وعي بحدود هذا الكون، تتلمس الطريق إلى لحظة بدايته وتعيد صياغة تاريخه، إنها تعرف الوحدة التي تعلو على تنوع أشكال الحياة وتعرف أيضا موقعها في هذا الكون. وهذا في الآن نفسه موقف ذهني، حيث نمتلك علما هو بالقطع غير مكتمل، لكن

«في عالم يسوده النظام، وعن عملية كيميائية تولدت الحياة التي راحت تتطور وترتقي، نحو المزيد من التعقيد والقوة، حتى وصلت إلى المخ البشري، العضو الذي يدرك النظام»

المؤلف



كم هو علم كاشف مضيء! إنه علم كشف لنا عن وجود قوانين بالغة العمق تكمن في صميم الأشياء، قوانين لا تتضارب ولا تتنافر، بل تنسجم وتتناسق حتى تدخل في صرة واحدة تترابط بآصرة وشيجة. وأيضا كشف لنا ذلك العلم عن تساوق بين بنات أفكارنا وبين العالم الخارجي، بين اللوغوس والواقع، أو بعبارة أخرى، بين الحدود الكبرى لفلسفة الماضي وفلسفة الحاضر.

ومع هذا، بدا ذلك العلم غامضا وملغزا، يقع بمجامعه في شراك أشواك غليظة ناتئة عن صوريته. وعن طريق الحرث في أدغال هذه الكتلة المتشابكة من الأشواك الغليظة استطعنا أن نستبصر تغيرا في النظرة. لقد تقدم علم معين، هو ميكانيكا الكوانتم، ليلقي لنا بطوق النجاة، ولا ريب في أنه فعل هذا لأنه العلم الذي يستطيع أكثر من سواه أن يتغلغل في صرة القوانين، ربما وصولا إلى أبعد أطرافها وأولى بداياتها.

لقد تعلمنا بعض أشياء غير عادية، حتى وإن لم تكن هذه الأشياء جميعا مقنعة بالدرجة نفسها. أما بالنسبة إلى الفيلسوف فإن أخطر العواقب هو ما حدث مرات عديدة تعد بالآلاف من نقض لمقاربة عقلية، نقتفي الآن سبل الاتجاه المعاكس لها. ولا جدال في أننا نتفق مع هيوم في أن العالم من حولنا هو الذي يرسم معالم بنيتنا العقلية، من خلال حواسنا، بداية على أساس الفرد، ثم ينتشر في ثنايا المجتمع بواسطة اللغة. إن تطور جنسنا البشري وتطور الصفوة منه، قد حدث في قلب هذا العالم، عن طريق الاستسلام لنظامه السري المستتر، لكنه ملحاح، وعن طريق التنقيح التدريجي لإدراكنا الحسي. لكننا نرفض هيوم حين يجاهر أنه من غير الممكن بلوغ منابع نظام العالم، ونرفض كانط هو الآخر حين يرى تلك المنابع في داخلنا نحن. إن المنابع كامنة في الخارج هنالك، في القوانين التي نعرفها الآن بشكل جيد، أو على الأقل بشكل جيد إلى درجة كافية.

على هذا لا يجادل أحد في البدء من الحس المشترك فقط. في الماضي اختارت الفلسفة مبادئها من خلال التأمل في طبيعة ذلك الحس المشترك، وأعلنت أنها مبادئ لا يمكن التعدي عليها، ووضعت قائمة بها. ثم اعتقدت الفلسفة أنها على أساس تلك المبادئ ستستطيع أن تقتحم كل



شيء يمكن أن يفكر فيه العقل. لكن هذه المبادئ تهاوت، واحدا إثر الآخر، حين واجهها عالم «اللامتناهي في الصغر»: المعقولية (أو إمكانية تمثيل الواقع في عقولنا)، التموضع (كل شيء له مكان خاص به)، العلية (كل معلول له علة)، القابلية للتمييز (يستطيع العقل التمييز بين شيئين ليسا من الهوية ذاتها)، القابلية للمعرفة (إذا أمكن الاعتقاد في فكرة تتعلق بهذا العالم، فإنه يمكن من حيث المبدأ تقرير ما إذا كانت فكرة صادقة أم كاذبة). كان حلم الفلسفة أن تفسر العالم بغير طائل، على الأقل من حيث مغزى فكرة التفسير الخاصة بالفلسفة: أن يظفر العقل بصورة واضحة للشيء المُفَسر، صورة يمكن صياغتها في كلمات، فتصل الصورة إلى الآخرين من خلال تلك الكلمات. لا بد أن نلجأ الآن إلى الرموز.

على أن هاتيك الرموز تتضمن المفاهيم وتعبر عن قوانين تشبه المبادئ، لكنها مفاهيم ومبادئ من نوع مختلف، وقد رأينا كيف حدث نقض كل ذلك. وحينما اقتُحمت معاقل تلك المبادئ الجديدة، من خلال جهود مضنية وتأملات مستفيضة، أمكن استعادة العالم. إن منابع المنطق، ومن ثم منابع العقل، تكمن في تلك المبادئ الجديدة. وليست تكمن في أذهاننا. ورؤيتنا للعالم بكل تجلياتها تضرب بجذورها في تلك المبادئ وتبرز مجددا كتبيان لها. لم نعد نظفر بمبادئ العالم من خلال اللغة العادية للعقل، و بدلا من هذا نغنم اتساقا أقوى بما لا يقارن عن طريق استنباط العقل من تلك المبادئ.

لا بد أن العقل قد تمخض عن كشف أكثر سطوعا، أو على الأقل كشف يمكن أن نفحصه عن كثب، إذا كان ثمة من لايزال يتشكك فيه: الهوة... الصدع chasm، كما أسميناه، الهوة التي لا يمكن اجتيازها بين النظرية والعالم الواقعي، بين الفكر والوجود، أو باستخدام مصطلحاتنا السابقة نقول بين اللوغوس والواقع.

تلكم هي الحالة المستجدة للأوضاع والتي لا بد أن نواجهها الآن.

بداياتُ فلسفة

باستعادة كلمات فرنسيس بيكون، التي ربما نكون قد مددنا نطاقها إلى ما يتجاوز مقاصد قائلها حتى جعلناها تبدو كنبوءة: لن نصل إلى أعم بديهيات العلم إلا في الخواتيم، وحينذاك سوف نرى أنها ليست أفكارا



خادعة بل هي مفاهيم محددة بدقة حتى أن الطبيعة ستتبين أنها مبادئها الأولى، الماثلة في صميم الأشياء وماهياتها. هل من الممكن – في يومنا هذا وفي خضم كل هذا التوتر أن نجاهر بتلك الكلمات – أن العلم بات قادرا على توليد فلسفة جديدة؟

ليس هذا التساؤل مجرد اقتراح بسيط، وما قلناه فعلا بخصوص ميكانيكا الكوانتم يكاد يدفعنا إلى السير قدما. هذا العلم، على قدر ما هو متفرد وكاشف، يحمل في صلب مبادئه أدوات تأويله وتفسيره. وبالمثل هل ينبغي أن يكون العلم بأسره قابعا على مقربة من قلب الأشياء وماهيتها حتى تُوَلَد الفلسفة الخاصة به؟ إنها فلسفة المعرفة قطعا. أوليست متطلبا شرطيا وقبليا لأي مشروع فلسفي، وليس هذا موضع شك أو جدال، بطبيعة الحال؟

لقد قطع العلم طريقا طويلا. ارتحل من العقل إلى الرموز المطلقة للرياضيات، ومن الأشياء العادية إلى قوانينها الكلية. في البداية غمر الجهل والظلام كل شيء، غمر اللغة ذاتها، وهي أداة العقل، وغمر الأشياء المحيطة بنا. أجل، في البداية أخفت الأشياء المحيطة بنا سرها وظهرت واضحة، غير قابلة للرد. والآن نراها بشكل مختلف، هو في الحقيقة شكل أفضل، ومنابع العقل هي الأخرى بدأت تتجلى وتظهر: في عالم يسوده النظام، وعن عملية كيميائية تولدت الحياة التي راحت تتطور وترتقي، نحو المزيد من التعقيد والقوة، حتى وصلت إلى المخ البشري، العضو الذي يدرك النظام. لاتزال العديد من الروابط مفقودة، وذروة العملية بأسرها، المخ البشري، فقط بدأ يكشف عن ذاته، ولم ندرك فعلا إلا بضعة تخطيطات مقتضبة.

هكذا نرى العلم يبدأ من المجهول، وفي خضم هذا الظلام الحالك يبلغ نقطة هي البداية حيث يغمرها الضوء الكثيف، إنها البداية التي جرى من قبل التسليم بها بغير تساؤل. يعود العلم إلى أصله الأصيل، كدائرة لعلها مهيأة لكي تكون مكتملة. بيد أن مثل تلك الدائرة، حتى لو كانت مكتملة، ستظل دائرة، بلا بداية وبلا نهاية، أي من دون المبدأ الهادي الخاص بها، أو بعبارة أخرى من دون فلسفة. لهذا السبب يجب علينا أن نشقها، لعلها تأتينا بالثمار.



أن نشق الدائرة يعني أن نجد ما لا تستطيع في حد ذاتها أن تعلمه عن ذاتها. إنه إيجاد مبدأ مؤسس للعلم لا يستطيع العلم في حد ذاته أن يقدمه. وعندئذ فقط يمكن أن تبدأ الميتافيزيقا.

لقد تطور العلم بالتعارض مع الميتافيزيقا، وكان يجب عليه أن يفعل هذا، فثمة حين من الدهر (يرى الكثيرون أنه حينٌ يشمل عصرنا هذا) اعتقد فيه الناس أن الميتافيزيقا قضت نحبها، واختفت إلى الأبد. لقد سخر منها هيوم، وسحقها سحقا، لكنه افترض لنفسه استباحات كانت هي ذاتها ميتافيزيقية: الاستحالة المطلقة لبلوغ منابع النظام الداخلي للأشياء. والآن نعرف أنه بخصوص هذا كان على خطأ بيِّن.

ما الذي نعنيه هنا بالميتافيزيقا؟ نحن نعرف الأصل اللغوي للكلمة: «ما وراء الطبيعة». ربما كان هذا الاسم - كما يرى الدارسون - لا يحمل المعنى العميق الذي نتوقعه، ولكنه اسم نشأ مرتبطا بالعرض والتصنيف. لم يكن ثمة عناوين لكتب أرسطو (على أي حال ليست كتبه جميعها هكذا). واحد منها كان عنوانه «الفيزيقا»، هذا العنوان نفسه (في الطبيعة) وضعه كثير من المؤلفين الأسبق على كتبهم. والكتاب الذي يتلوه على رف الكتب أُعطي له عنوان هو «الميتافيزيقا» [حرفيا تعني هذه الكلمة ما بعد الطبيعة]، أي ما يأتي بعد الطبيعة. ولعلني اتخذ المغزى الذي يبدو أن هذه الكلمة تحمله: نتيجة التأملات التي تؤدي إليها معرفة معينة بالفيزيقا، بالطبيعة. ولعلني أضيف أيضا مغزى المقطع القبلي «ميتا» =[ما بعد أو]، فالمقطع نفسه موجود في المنطق في «ما بعد اللغة metalanguage»: طريقة اقتحام ما لا يمكن إنجازه بشكل كاف باللغة في حد ذاتها. صفوة القول إن الأمر بأسرة متعلق بمحاولة التعلم... محاولة بلوغ الأشياء التي يحملها العلم في سياقه ولكنه لا يستطيع في حد ذاته أن يبلغنا بأمرها.

وعلى هذا أزعم أن العلم في وقتنا الراهن أصبح ناضجا بما يكفي لأن يسمح بالكشف عن ميتافيزيقا. من الواضح أن مثل هذا الزعم لا يمكن أن يكون محصلة لبرهان، ولكنه على أفضل الفروض قد يكون اقتناعا. وهو أيضا تعبير عن مبتغى، عن تشجيع موجه لفلاسفة المستقبل، الذين سوف يجيلون النظر في تواني وإهمال فلاسفة العصر الراهن، ويتلمسون لهم المغفرة. ويسعدني وأنا أتحدث عن هذه المغامرة الجديدة أن أستعير كلمات بيكون عن



العلم: هذا الإحياء بلا جدال سوف يتجاوز ظروفنا التي تقضي أن البشر فانون، لأنه لا يفترض أن العمل يمكن أن يكتمل تماما في غضون جيل واحد، بل يشترط أن يضطلع بالعمل جيل إثر جيل.

لعل هذا قصارى ما أستطيع أن أقوله، لأن موقعنا الراهن في هذه الرحلة مفعم بالمفاجآت والإمكانيات لدرجة أنه لا يمكن أن نتوقعها جميعا. ومع هذا سوف أواصل المسير، منبها القارئ إلى ألا يرى في ما هو آت أي شيء يتجاوز المخطط العام والمحيط الفضفاض لأفكار مبدئية.

ربما يكون من الحكمة أن نتوقف هنا عند هذا القدر من مناقشاتنا لوضع التساؤل المطروح، لأني أرى أن إسهام بعض الكتاب المعاصرين في الإبستمولوجيا، ونفر منهم يتمتعون بشعبية وشهرة أوسع، سوف يكون مربكا أكثر منه مضيئا أو كاشفا. بطبيعة الحال لا تنطبق هذه الملحوظة على الأعمال الدسمة والمهمة للمؤرخين، وعلى بعض الكتب الأسبق التي تستحق مزيدا من الاهتمام، حتى لو كان وضع العلم في أوان كتابتها قد حكم عليها بأن تكون مهجورة. ومما هو جدير بالذكر من ضمن هذه الكتب أعمال باشلار Bachelard التي قدم فيها لمسة يحتاج المرء كثيرا إلى أن يجدها في كل موضع، وهي اللمسة التي حاولت أن أقدمها هنا ولم يحالفني النجاح: لمسة الشاعر. وهي كل ما يبقى من المعرفة الماضية، يرافقها في هذا لمسة الحالم.

المقدس والإغراء الديني

كنت أود أن أنهي هذا الفصل بتساؤل ربما كان العديد من القراء قد أثاروه من تلقاء أنفسهم: إنه السؤال عن العلاقة بين المشروع الذي طرحناه في الصفحات السابقة وبين الدين. إذ يشهد الوقت الراهن فيضا من الكتب يعتقد مؤلفوها أنهم وجدوا في العلم تجلي علامات على وجود الله. يرى مسيحيون (وبالقطع يهود أيضا) في نظرية الانفجار الكبير Big Bang (*)

(*) صاغ هذه النظرة في عام ١٩٤٨ العالم الأمريكي ذو الأصل الروسي جورج غاموف (وسوف نحيل إلى كتاب له في هامش لاحق) ومعاونوه، على أساس أن المادة الكونية كانت في البدء منضغطة في حيز بالغ الضآلة، ومن ثم كانت كثافتها ودرجة حرارتها عاليتان جدا لدرجة لا يمكن تخيلها. ولأسباب غير معروفة علميا، انفجرت منذ ١٢-٢٠ مليار سنة هذه البيضة الكونية cosmic egg، وانتشرت دخانا وسديما، وبردت شيئا فشيئا، حتى تم توزيع الأجرام السماوية في أماكنها المقدرة لها. وكانت لحظة الانفجار هي بداية الزمان والمكان والمادة [المترجمان].



تأكيدا لقصة الخلق الواردة في سفر التكوين. آخرون، أو أولئك المؤلفون أنفسهم، يرون قوانين مماثلة لقوانين العهد القديم، أو التوراة. آخرون يجدون البرهان في نصوص دين من أديان الشرق الأقصى مثل كتاب الطاوية «الطريق إلى الفضيلة». والحق، كما يبين لنا هذا المثال الأخير، أن تلك الكتابات تخوض في الأجواء الشاعرية وبالتالي تفتح الباب أمام تأويل غائم وفضفاض إلى حد كبير. هذا فضلا عن أن قراءة الكتاب المعاصرين لهذه النصوص قائمة إلى حد كبير على أساس المماثلة. على أي حال ينبغي أن نسأل أنفسنا عما إذا كان في هذا شيء يتجاوز محض التلاعب بغموض الألفاظ، حتى لو أظهر هؤلاء المؤلفون جدية صارمة. فهل هي حقيقة؟

في الإحاطة بمثل هذه الأمور، ولو حتى بصورة عجلى، لا بد أن يكشف المرء عن هويته الحقيقية بوضوح. وعلى هذا أجاهر بأني، أنا مؤلف هذا الكتاب، أعتبر نفسي مسيحيا، وإن يكن موقفي في مسائل العقيدة أقرب إلى كتاب نيقولا القوساوي Nicholas de Cues «الجهل الحكيم Docta Ignorantia» (*) منه إلى كتاب توما الأكويني «الخلاصة اللاهوتية Summa Theologica»، أو كتاب كارل بارت «الدوغماطيقية» (**) وإني أبغي من هذا الإقرار الشخصي أن أطمئن إخواني المسيحيين إلى أن نقدي موجه فقط إلى بعض التبشيرات المسيحية التي لا تستند إلى أساس فكري قويم.

سوف أشهر حجة واحدة فقط، تتكرر كثيرا: تأويل كشف علمي مثير - وهو وجود بداية للكون، وإن كانت مجرد احتمال وليست مؤكدة - على أنه برهان على خلق العالم، وبالتالي على وجود الخالق. وهذا افتقار إلى المنطق فادح ومشين. ولنلق نظرة من كثب أكثر. داخل إطار نظرية النسبية العامة، حين تمتد إلى حدودها، يوجد حلٌ معين لمعادلات آينشتين يبدو أنه

(*) أخذ نيقولا القوساوي عنوان هذا الكتاب عن القديس بونافنتورا (١٢١٧-١٢٧٤م) الإسكولائي الإيطالي، ومن رأيه أن الإنسان يبلغ الحكمة إذا تبين حدود عقله [المترجمان].

(**) الدوغماطيقية هي الإيقانية. أما كارل بارت Karl Barth (١٨٨٦ - ١٩٦٨) فهو لاهوتي بروتستانتي من تيار اللاهوت الوجودي عارض اللاهوت الليبرالي الذي ينطلق من التجربة الإنسانية وليس من الرب . انظر: يمنى الخولي، الوجودية الدينية، ط٣ دار قباء الحديثة، ٢٠٠٧، ص ٢٨ وما بعدها [المترجمان].

المستصوب إلى أبعد مدى. إنه حل ينطوي على ما يسمى بالكون المتجانس الموحد الخصائص من جميع الجهات isotropic (أي له السمات نفسها بدرجة متماثلة من جميع الجهات) اتفاقا مع التوزيع المرصود للمجرات، و بخاصة مع الإشعاع الحراري الذي يملأ الكون في الوقت الراهن. الحل المعين الذي نحصل عليه يطرح نموذجا رياضيا للكون وتاريخه، وفيه يقدم ما يسمى بتفرد الكون، وهذا يعني حدا تمنع قوانين الفيزياء تجاوزه، حدا يقع في الماضي ولا يمكن للزمن أن يمتد إلى أبعد منه. وبفضل معرفتنا بقوانين الفيزياء نستطيع الإبحار في خضم هذا النموذج، ونستخلص نتائج عدة: المقدار الراهن من الهليوم ومن النويات الخفيفة، كل الخصائص المميزة للإشعاع الحراري المذكور عاليه، وقانون هابل Hubble في تراجع المجرات (*). وقد أيدت التجربة كل هذه النتائج بدرجة معقولة وبالتالي تضفي على النموذج درجة عالية من الاستصواب. وهكذا يمكن للمرء منطقيا أن يقتنع بهذا النموذج، ومعظمه يبدو على الأرجح صوابا. أو لنفترض هذا.

ما الذي أثبتناه من كل هذا؟ لقد أثبتنا شيئا بالغ الأهمية للفيزيائيين: واقعة مفادها أن القوانين التي اكتشفناها الآن وهُنا تنطبق على الكون بأسره. ولكنّ ما علاقة الرب بكل هذا؟ هل نحن في حاجة إليه [سبحانه وتعالى] كخالق؟ إن هذا من شأنه أن يفضي بنا إلى تخيل زمان بلا حدود ينطوي في نقطة ما على لحظة الخلق. ربما نتقبل من كاتب يهودي أن يقول مثل هذا الكلام في أوان عصر إزرا (**)، ولكن أيجوز في عصرنا هذا؟! إن العلم الذي أرسيت عليه هذه الحجة، أي نظرية النسبية العامة، غير ملتبس في هذه النقطة: لا فيزيائي يستطيع أن يعطى أي معنى لفكرة الزمان تتجاوز حدود التفرد، أي تتجاوز «البداية». وعلاوة على هذا نجد القديس أوغسطين يقر بكل ذلك

(*) يشير المؤلف إلى ما لاحظه الفلكيون من إزاحة للإشارة الضوئية الواصلة إلينا من المجرات إلى جهة اللون الأحمر من الطيف المرئي للضوء، مما يعني أن المجرات تبتعد عنا بتأثير التوسع الكوني، وأنها كانت في الماضي أكثر قربا من بعضها، وكلما توغلنا في عمق الزمن شيئا فشيئا وجدناها كانت أكثر قربا حتى نصل إلى اللحظة التي كانت فيها المادة الكونية منغطة في حيز ضئيل، وفي حالة شديدة من الكثافة والحرارة، أدى انفجارها الكبير إلى الكون الحالي. كما أشرنا في الهامش أعلاه [المترجمان].

(**) لعل المؤلف يقصد عزريا بن عوديد وهو أحد أنبياء اليهود [المترجمان].

في كتابه «الاعترافات». أما أولئك الذين يحيرهم السؤال ما الذي كان الرب يفعله قبل أن يخلق العالم؟ فإن أوغسطين يجيبهم «قبل أن يوجد العالم، لم يكن ثمة زمان».

لدينا جميعا صور ذهنية، صور كانط الشهيرة لحدوس الحساسية. نحن لا نستطيع أن نتخيل واقعا لا يحتويه حاوٍ، أو لا يمتد إلى ما لا نهاية، يصدق هذا على الزمان مثلما يصدق على أي شيء آخر. في خيالنا، الحوائل أو الحدود تلتقي مع الجانب الآخر من الحدود، مع السطح الخارجي، والسطح الخارجي للكون بمعية ماضيه المحدد يلتقي مع أكثر الصور طرا افتقارا للدقة: مع الرب الخالق. وأولئك الذين يرون الأمر على هذه الشاكلة، لا بد لهم في ما بعد أن يوحدوا بينه وبين مشاعرهم الحميمة جدا، ونحن في هذا نتحدث عن سر باطني... عن التصوف. أجل، إن التوحيد بين الخارجي المكتمل والداخلي المكتمل لهو التصوف، ولكنه يسمى أيضا أغلوطة (أي استدلال خاطئ).

وعدم الاتساق المنطقي يسير إلى ما هو أبعد من هذا. ذلك أنه بافتراض وجود الخالق، يكون المرء في واقع الأمر باحثا عن علة، وحين افتراض أن ذلك الخالق يوجد قبل وجود الكون، فإن هذا يومئ إلى أننا نرى في بداية الزمان محض مرحلة معينة من مراحل رواية أضخم. ومهما يكن الأمر، لا يفوتنا أن قوانين الفيزياء التي تحدث تلك الوقائع في إطارها قد علمتنا شيئا آخر، وهو أن فكرة العلة ليست مطلقة. يجب أن نتصور الزمان والمكان في حد ذاتهما، من دون أي حاوٍ خارجي. وتلك إحدى نقاط البداية التي تنطلق منها النظرية التي على أساسها قمنا ببناء النموذج. وهكذا، ليس أسهل من أن نلصق بما نعرفه مفاهيم تتناقض مع الافتراضات التي قامت على أساسها. وتلك أغلوطة أخرى.

وأخيرا، نجد أن فكرة الرب الخالق تبث الحياة في أعطاف صورة سلفية موروثة، على أنها فكرة تسير في طريق غير طريق التصوف: إنها فكرة القوانين الكامنة. تلك القوانين هي التي خلقت هذا الكون، أو على الأقل تقوم بنيته على أساس امتدادها في الزمان. فهل يعني هذا أن كل

ما يفعله الرب هو أن يخلق قوانين؟ وإذا كان الأمر هكذا، فما الذي يضيفه مفهوم الرب إلى مفهوم القوانين؟ هل هو علة؟ سيكون هذا استسلاما لخلجات العقل. إن هذه القوانين، بصميم ما تنطوي عليه من عمومية، سوف تمتنع تماما على كل ما يوجد خارجها. وينبغي أن تظل أول مرامي التأمل، فنستطيع أن نفسر بوصفها على اتصال مباشر بكل ما يقع في متناولنا. إن نطاق الدين يترامى في كل مجال سوى مجال خلق العالم.

ومع هذا، فرُبَّ متسائل: ألم يقل آينشتين «إن الاعتقاد بأن العالم محكوم بقواعد عقلية ويمكن أن يفهمه العقل لهو اعتقاد ينتمي إلى مجال الدين. وأنا لا أستطيع أن أتصور عالما حقيقيا يفتقر إلى هذا الاعتقاد المكين. ويمكن التعبير عن هذا الموقف بالصورة المجازية: العلم بدون الدين أعرج، والدين بدون العلم أعمى»؟

ويبدو لي أننا يجب أن نميز هنا بين كلمتين. إن استبصار آينشتين يكتسب مغزاه الكامل إذا فهمنا «الديني» بمعنى «المقدس». إن المقدس يمسك بمجامع مفهوم طرحه ميركاي إلياد Mircea Eliad في تصدير كتابه «تاريخ المعتقدات والأفكار الدينية Histoire des croyances et des ideé religieuses» على النحو التالي: «من الصعب أن نتخيل كيف يمكن للعقل الإنساني أن يسير من دون المعتقد القائل بوجود كيان في هذا العالم حقيقي واقعي (*) بحيث لا يقبل الرد إلى سواه، ومن المستحيل أن نتصور كيف كان يمكن أن يظهر الوعي من دون تداول المعنى الكامن في دوافع الإنسان وخبراته. إن الوعي بعالم واقعي حقيقي وذي معنى إنما يتصل اتصالا وثيقا باكتشاف المقدس. وعن طريق الخبرة بالمقدس استكنه العقل البشري الاختلاف بين الأشياء الحقيقية ذات السلطان والثراء والمعنى وبين تلك الأشياء التي لا يمكن أن نعزو إليها هاتيك الخصائص، أي ذلك الفيض الدافق من الوقائع المتسمة بالعماء والخطورة، وخبطها العشوائي وحدوثها الذي يخلو من المعنى وتلاشيها... صفوة القول: إن «المقدس» عنصر من عناصر الوعي، وليس مجرد مرحلة من مراحل تطور ذلك الوعي».

(*) الكاتب ميركاي إلياد هو الذي شدد على كلمة real ووجدنا أنه لا يكفي ترجمتها بالمقابل المعهود الذي يشغل ذهن المؤلف ويشغل الكتاب نفسه أي: «واقعي»، فكان من الأنسب إضافة «حقيقي» [المترجمان].



إذا قارنا هذا التصور للمقدس بالتعريف الوارد في قاموس (القاموس الفرنسي روبرت Robert في هذه الحالة) سوف نلاحظ تماثلا: الشيء المقدس هو «الخليق بإجلال مطلق، والذي يمكن اعتباره قيمة مطلقة». ويختلف هذا تماما عن دلالة أخرى شائعة: المقدس هو ما ينتمي إلى مجال مفارق، مجال ممتنع محاط بالحرمات ولا ينتهك (كمقابل لما هو دنيوي)، ويبعث في النفوس طوية الخشوع الديني».

وهذا المعنى الثاني مصحوب بكلمات من قبيل «القديس» و«الحرام». ومن الأفضل أن نستبعد هذا المعنى الثاني الذي يقابل بين المقدس وبين الدنيوي، مادام يرسي أسسا ثنائية من الواضح أنها لا توجد في فكرة آينشتين.

والواقع أن ميركاي إلياد في نصه المقتبس عاليه قام بتعريف المقدس مرتين، والتعريفان مختلفان: مرة يرى المقدس شيئا ذا سلطان ومعنى في حد ذاته، وفي المرة الثانية يرى المقدس طريقة لأن نخبر ذلك السلطان عن طريق نزوع معين للوعي حتى أنه اعتبر المقدس بنية للوعي. ولسنا في موضع تقرير ما إذا كان المقدس بنية للوعي أم أنه منزع ثقافي، ويكفينا تماما الإقرار بأن المقدس حالة للوعي يعرفها الكثيرون منا، إن لم نكن نعرفها جميعا، بشكل أو بآخر. النقطة المهمة هي أن نتفق على أن المقدس هو نزوع يمر بخبرة الفرد، وأنه لهذا يقيم علاقة بين العالم وبين السلوك الإنساني أو - ولم لا؟ - بين فلسفة للمعرفة وبين الإنسانية.

من هنا كانت أولى الخصائص التي يعزوها إلياد للمقدس هي الأهم بالنسبة إلينا: خاصية أنه ذو سلطان وثراء ومعنى. ويمكن أن نلاحظ أيضا أن بعضا من تحفظات إلياد غير ذات بال. فحين يتحدث عن «ذلك الفيض الدافق من الوقائع المتسمة بالعماء والخطورة، وخبطها العشوائي وحدوثها الذي يخلو من المعنى وتلاشيها»، يبدو وكأنه يفترض أن هذا المجال، الذي يصد عن المقدس، قد ينتمي إلى واقع أولي مستقل عن أي شكل من أشكال النظام. ونحن نعرف الآن أن مثل هذا اللا نظام محض مسألة ظاهرية: ظروف مشؤومة أو حادث مأساوي قد يبدو مرعبا أو مهلكا، إلا أنه مع هذا محكوم بنظام أعلى، نظام أقرب إلى القوانين. قد يكون فيض الأشياء خطيرا أو محملا بالمخاطر بالنسبة إلى الفرد، أو بالنسبة إلى الجماعة، أو



حتى بالنسبة إلى النوع الحيوي، ولكن لا عماء في آلياته حتى ولو ظل معقدا ولا يمكن التنبؤ به. قد يبدو ظهور الأشياء واختفاؤها كأنه يحدث عشوائيا، ولكن ليس ألبتة خلوا من المعنى. الخلاصة: الطريقة التي ننظر بها إلى المقدس، تجعلنا نراه في كل مكان من أرجاء الكون ولا شيء ألبتة دنيوي تماما. ليست الدنيوية إلا وهما خادعا نابعا من جهالتنا، إنها غفوة العقل أو خبل الأفكار الزائفة.



14

ما العلم؟

أما وقد قمنا بمراجعة وضع التساؤل المطروح، فسوف ننطلق من هذا لنواصل مسيرتنا في الفصل الراهن بفحصنا طبيعة العلم (*).

العلم والتمثيل

يرتكز كل فكر على تمثيل ما. وبهذه الطريقة يقوم العقل بترجمة إدراكنا للعالم. ربما كانت ذكرياتنا عن العالم متموضعة في دائرة من الإشارات العصبية تتطور بفعل الإدراكات الحسية المتكررة أو الحادة، وفي ما بعد تغدو ثابتة. إننا ندرك المشهد ككل، رحيبا وساكنا، لكن عيوننا تلتقط في كل لحظة محض جزء متناه منه، وفي ذاكرتنا، لا سواها، نجيل الفكر في الصورة التي تتمخض عنها آلاف من تلك

«يمكننا أن نقول غير مبالغين ولا مفرطين، إن الاتساق المنطقي الكامل قد أصبح خاصة أساسية للعلم، والعلم دائما على استعداد لوضع الاتساق فيه موضع الفحص والاعتبار حتى لو كانت في هذا مخاطرة بفقدان فادح، وهذا ما لا يمكن أن يفعله لاهوت»

المؤلف

(*) سوف نستخدم مصطلح «العلم science» ليشير إلى ما اعتدنا أن نسميه العلوم الفيزيائية: دراسة المادة، والأجرام الفلكية (بما فيها الأرض)، والكائنات الحية. أما المنطق والرياضيات فسوف يستبقيان اسميهما المهيبين، وبهذا نشير إلى الفجوة التي تفصلهما عن الواقع العيني. ونعلم أن العلوم الاجتماعية بهذا تبقى في وضع ملتبس، بيد أننا هاهنا في غير حاجة ألبتة إلى مناقشة العلوم الاجتماعية [المؤلف].



الانطباعات الزائلة: إنه التمثيل. وحتى ألفاظنا نستخدمها لكي تقوم بالتمثيل.

وعلى هذا، بالنسبة إلى السؤال الذي سوف نجيب عنه «ما العلم؟» فإن العلم هو الآخر تمثيل للواقع. وليس هذا هو التمثيل الأولي الذي تصوره لوك وهيوم، المكون من شظايا تأتينا مباشرة من الواقع، بل هو بالأحرى صورة مجردة ومصوغة في رموز، إلا أنها مع هذا صورة جديرة بالثقة.

يمتلك البشر تمثيلات شتى للواقع: سحرية وشاعرية وأيديولوجية، وتمثيلات أخرى لا تزال ثمة. هذه التمثيلات تحيا في منظومة فلسفية، أو في منظومة دينية أو ثقافية، وفي بعض الأحيان يحيا التمثيل في الوضع الراهن للذهن. لكل واحد من تلك التمثيلات لغته الخاصة، والعكس أيضا صحيح، بمعنى أن لغتنا تشكلت عن شدفٍ من التمثيلات المتشظية. يمكنها أن ترتبط معا لتنتج تمثيلات أخرى مغايرة. فما الذي يجعل العلم متميزا عن أي شيء آخر؟ هل هذا لأن العلم يستخدم المفاهيم الخاصة به، المستوحاة من الخبرة، أم لأن العلم يتفرد بصلابة حججه وصرامة منطقه؟ الخاصة الأولى تنطبق بالمثل تماما على هرمسيات بيكو دي لا ميراندولا، بينما تنطبق الخاصة الثانية على اللاهوت المدرسي. فهل يا ترى تكمن الإجابة في مثول القوانين؟ هذه الإجابة مستبعدة، مادامت القوانين تشكل جزءا من أي رؤية للعالم.

لكن ماذا عن الاتساق المنطقي؟ يسعى اللاهوت كثيرا إلى الاتساق، وكان هذا المسعى هو منبعه ومنشأه، ويتصل هذا بالبحث في طبيعة الآلهة الذي طرحته الفلسفات القديمة. ولم يكن العلم يمتلك اتساقا في عهوده الأولى، حين كان محض تجميع إمبيريقي للوقائع ومنكبا عليها. أتاه الاتساق لاحقا حين عرف النضج، واقتربت أجزاؤه المتباينة بعضها نحو البعض الآخر وتداخلت واندمجت معا. ومع هذا يمكننا أن نقول غير مبالغين ولا مفرطين، إن الاتساق المنطقي الكامل قد أصبح خاصة أساسية للعلم، والعلم دائما على استعداد لوضع الاتساق فيه موضع الفحص والاختبار حتى لو كانت في هذا مخاطرة بفقدان فادح، وهذا ما لا يمكن أن يفعله لاهوت.

أجل، هذا الاتساق يظل على الدوام رهن الفحص والتساؤل. ولا يألو العلماء جهدا في تقفي أصول تناقضات تظهر لاحقا، ويواظبون على اختبار حدود معارفهم. وعلى العكس مما يعتقد البعض حين يتحدثون عن مراسم اعتداد العلم بذاته، نجد المجتمع العلمي شديد التقدير لكل كشفٍ



عن عدم اتساق، وربما يرى هذا أهم وأعلى شأنا من اكتشاف علمي جديد. ولست أروم أن أضفي على هذا هالات شاعرية: فثمة أمثلة أخرى عديدة على عناد العلماء الذي يناطح عناد البشر أجمعين، ويكفي أن نتذكر الرفض الشرس الذي لاقاه الانجراف القاري لفيغنر (*) ولهذا فإن كل ما قلته حتى الآن صحيح على المدى الطويل وليس من الضروري أن يصدق دائما على الواقع الراهن.

والعلم، مختلفا في هذا عن البدائل الأخرى أو التمثيلات المنافسة، يتطلب الاتساق المطلق. ومجرد عدم اتساق وحيد جلي يجعل أي فرع من فروع العلم مدعاة للشك وغير جدير بالثقة. ولو أنه ترك لفترة طويلة فربما استحال إلى غرغرينا لتنتشر في مجمل جسد العلم. إن توقعات الاتساق الآن عالية وملحة وبات من المتفق عليه أن تنفيذه يستدعي أن يكون العلم دائما على استعداد للتكفير عن أي خرق للاتساق ولو عن طريق التضحية بذاته.

ويحمل مسار التاريخ أمثلة عديدة على هذا، مثلما حدث حينما تبدى تناقض بين قوى الجاذبية اللحظية وبين استحالة الحركة بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وثمة مثال آخر هو انهيار النموذج الذري الكلاسيكي لرذرفورد الذي استدعى تضحية مثلى على مذبح الاتساق المنطقي: التضحية بالحدس وبالحس المشترك.

من المؤكد أن هذه التضحيات لم تكن عبثا بغير جدوى، وفي أعقاب كل نذير يعاود العلم اكتشاف اتساقه الجميل، أكثر وثوقا من كل ما سبق. وبشكل ثابت، تتبع هذه الكوارث عملية إنقاذ مثيرة تنتهي بتبديد كل المخاوف، والآن يكافئ الفيزيائيون كل اكتشاف لعدم اتساق، مهما كان طفيفا. إنهم يبحثون عنه ويتتبعون أصوله، لأنهم يتوقعون من هذا حدوث تقدم باهر، وليس لأنهم يخشون أي خطر حقيقي. ومع ذلك، فعلى الرغم من هذه الثقة شبه المطلقة، فإن الإيمان بالعلم قد نشأ أولا وقبل كل شيء عن عظمة لا تضاهيها إلا عظمة المحارب المتجرد: أن يسود لأنه يتقبل تعرضه للانجراح.

(*) في العام ١٩١٥ نشر عالم الجيولوجيا والظواهر الجوية الألماني ألفرد فيغنر A. Wegener كتابه (أصل القارات والمحيطات) الذي يحمل نظريته في الانجراف القاري. وهي تنص على أن أجزاء القشرة الأرضية ليست ألبتة ثابتة، بل تنجرف ببطء أعلى نواة سائلة، وعلى الرغم من أن نظريته وردت مشفوعة بشواهد من الحفريات وسواها، فقد جوبهت في البداية برفض عنيف. وهي الآن معمول بها.

حول أنماط معينة من القوانين

يقدم العلم تمثيلا للعالم من حيث هو مترابط معا داخل شبكة محكمة من القوانين. ولهذه القواعد أو القوانين مغزى مهيب، بيد أنه من الصعوبة بمكان أن نفض أسرار طبيعتها وماهيتها، نستطيع فقط أن نتعرف عليها وندرك فاعليتها المستمرة الصائنة المصون.

والحق أن ثمة أصنافا عديدة من القوانين، أجل ليس ثمة اتفاق واسع على أسماء هذه الأصناف، لكنه من المناسب تماما أن نميّز بين ثلاثة أنواع: القواعد الإمبيريقية والمبادئ والقوانين. وفي خضم عدد لا يحصى من القواعد الإمبيريقية، ثمة أولا وقبل كل شيء تلك القواعد الإمبيريقية التي نسميها قواعد أولية. إنها تنشأ عن الأحداث التي تتكرر بلا نهاية. الأغصان تصبح صفراء في الخريف، والشمس تبدو حمراء حين الغروب، القطط لها شوارب، وقشرة البرتقال ذات لون معين، كل هاتيك الأشياء تشكل معا مجموعة فضفاضة من القواعد الأولية، تنجم عن تكرار الأشياء التي تنسج تمثلنا البصري ولغتنا.

غالبا ما يبدأ العلم من تحليل واع لمثل هذه القواعد. ولعل هذا هو ما فعله لينيه (*) حين عمد إلى تصنيف التّماثلات الشتى والاختلافات الجمة التي توجد في مملكة الخضروات. وبهذا توصل إلى قواعد تجريبية ثانوية أكثر تنقيحا وتفصيلا، وهي فقط نوعية القواعد التي سنأخذها في اعتبارنا من الآن فصاعدا. وغالبا ما تأخذ هذه القواعد شكلا كميا: قاعدة بطليموس لأفلاك التدوير التي تتحرك فيها الأجرام السماوية، وقواعد كبلر للظاهرة نفسها، و«قانون» أوم في الكهربية، وحالات أخرى عديدة. كل واحدة منها تبقى - على أي حال - ملاحظة أكثر من أن تكون تفسيرا، إنها تلخيص لوقائع لوحظت يشرح ظهورها، ولا يمكنها أن تتجاوز هذا لتقتحم آفاقا أبعد.

أما المبادئ فتختلف عن هذا تماما. فالمرامي المتواضعة للقواعد التجريبية لا تضاهي - بحال - المرامي الطموحة للمبادئ. المبدأ يجب أن يكون عموميا. وهذه الفكرة أتتنا من الفلسفة الإغريقية وفي سياق

(*) كارل فون لينيه Carl von Linné (١٧٠٧ - ١٧٨٧) عالم طبيعيات يعد إمام علوم النبات. وفي طليعة المعنيين بتصنيف الممالك الحية. كان محاضرا قديرا وملاحظا دقيقا. وذا إنتاج علمي غزير. بعض الأسس التي وضعها لتصنيف النباتات لايزال معمولا بها حتى الآن [المترجمان].

لاهوت العصر الوسيط، لكنها وجدت معناها الحصري الدقيق في الفيزياء. علم الحياة هو الآخر له مبادئه، بيد أنها تنطوي على درجة كبيرة من الاستفاضة والالتباس. وعلى هذا النحو نجد التطور evolution مبدأ جليل الشأن، لكن منطوقه كتقرير يترك مجالا رحيبا للتأويل. وقد رأينا أن أول علم ادعى أن له مبادئ هو ميكانيكا نيوتن، وذكرنا أنه بهذه الطريقة كان قد انتوى أن يحررنا من شرط وجودنا المرتهن بالأرض. لكنه مع كل هذا رفض أن يرى في مبادئه أي شيء بخلاف تلخيص للوقائع والخبرات، أي قاعدة تجريبية من نظام أعلى وأكثر قدرة على التلخيص والإيجاز. ومهما يكن الأمر، فعلينا أن نضعها في مكانة فريدة، وذلك لأنها - على وجه التحديد الدقيق - عمومية، ولهذا يمكن استخدامها لوضع تنبؤات.

قد يبدو الإعلان أن مبدأ ما ينطبق بشكل عمومي مشروعا يائسا، مثله مثل الرهان في وجه مصرف لا متناهي الثراء ولا يمكن التنبؤ بأوجه الدهاء الصادرة عنه: إنه مصرف الواقع. والحق أن المبادئ إذا كانت عمومية، فإنها يجب أن تعطي شرحا لكل ظاهرة تقع في دائرة اختصاصها بلا أي استثناء (وتخضع للإحكام الكمي الصارم). ينسحب هذا أيضا على التجارب التي لم يجرها أو حتى لم يتخيلها أحدٌ بعد. لم يكن واضحا ألبتة أن قوانين نيوتن بمعية دوران الأرض تفضي إلى دوران دولاب البندول، وأن فوكوه M. Foucault بعد ذلك بأكثر من قرن سيصل إلى المبدأ الذي يتنبأ بطبيعة حركته. وهكذا تنطبق عمومية قانون على ما لا نعرفه بعد، مثلما تنطبق على ما هو موجود بالفعل، وهنا تكمن قوته وقابليته للانجراح في آن معا.

إن المطلب المذكور عاليه بالغ القسوة، لأن تعارضا واحدا بين الواقع وبين النتائج المتوقعة لمبدأ ما من شأنه أن يحمل الأجل المحتوم لهذا المبدأ. وفي الآن نفسه نحرز نصرا عظيما حين يحبط المبدأ ضربات الواقع العمياء، الواحدة إثر الأخرى. إن المبدأ على ساحة الكون لهو مصارع الثيران، والمادة هي الثور الهائج المُهاجم!

وأخيرا تأتي القوانين بعد المبادئ. والقوانين، كما نفهمها، هي تلك المحصلات المعينة التي يمكن استنباطها من المبادئ، والتي تنطبق على أنواع معينة من الظواهر. مثلا، قواعد كبلر منذ وقت طويل لم تعد إمبيريقية إذ



أصبحت محصلة مباشرة لمبادئ نيوتن، وبهذا لم تعد قواعد إمبيريقية بل وصلت إلى مرتبة القوانين. ومن ثم يمكن أن ننظر إلى القوانين بوصفها أبناء المبادئ، نسلها وذريتها، وبالمثل تماما نعتبرها الوسائل التي يمكن اختبار المبادئ بواسطتها.

كيف نعرف أن مبدأ ما قد ساد ويمكن الوثوق به؟ يتسنى هذا فقط عن طريق التحقق تجريبيا من كل المحصلات المتصورة له، على قدر الإمكان. في حالة الميكانيكا الكلاسيكية، استمرت مرحلة التحقق تلك ما يقرب من قرنين من الزمان ولا تزال مستمرة، وإن يكن بإيقاع أبطأ. وتقريبا نستطيع القول إن قوانين معينة قد تعرضت للمراجعة والاختبار مرتين: مرة من حيث هي محصلات نظرية للمبادئ، ومرة من خلال الاختبار التجريبي الذي قام أيضا بتحويل القوانين إلى قواعد إمبيريقية. وحين تُكتشف مبادئ العلم، يمكن أن تتغير منزلة العديد من القواعد الإمبيريقية لتصبح قوانين إذا كان من الممكن اشتقاقها (نظريا) من المبادئ، مثلما كان الوضع مع قواعد/قوانين كبلر.

ويمكن قياس اتساق العلم المعاصر، وتحديدا اتساق العلوم الفيزيائية، وفق حقيقة مفادها أن عدد القوانين فيه يفوق كثيرا عدد القواعد الإمبيريقية المحضة. إن وجود قواعد إمبيريقية لا يمكن أن ترتبط بالمبادئ قد يعني أن المبادئ لا تزال غير مكتملة. خذ مثلا القاعدة الإمبيريقية للينابيع التي تربط الامتداد بقوة السحب. لا تستطيع ميكانيكا نيوتن أن تجعلها قانونا بسبب الافتقار إلى تفسير مُرض. وفقط بعد كل هذا ندرك أن الأمر كان علامة واهنة تومئ إلى البنية الذرية للمعادن ووجود مبادئ الكوانتم التي تكمن خلف كل هذا.

تحولات العلم

إن العلم يتقدم، شأنه في هذا شأن أي نمط آخر من أنماط التمثيل، وهذه محصلة للجانب الإنساني الذي يدخل في تكوين العلم، والذي يظل تحت رحمة التاريخ، بيد أنه يطرح مشكلات عويصة، لأنه يجعل المبادئ أيضا يمكن أن توضع موضع التساؤل والبحث، على الرغم من مزاعمها أنها عمومية.



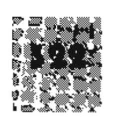
ولنأخذ علم الوراثة على سبيل المثال. فقد صادر مندل على وجود المورثات (= الجينات) كمبدأ يعلو على القواعد الإمبيريقية للوراثة. الأبوان يحملان هذه المورثات، وتنتقل إلى نسلهما تبعا لقوانين الاحتمال. وكان اكتشاف الصبغيات (= الكروموزومات) تأييدا عينيا للمورثات، وبيّن أن المصادفة تقتحم الصورة حين يحدث الانقسام الاختزالي meiosis، أي في اللحظة التي تتشكل فيها أول خلية من خلايا النسل الذي سيخرج عن هذين الأبوين. وهكذا ارتد «مبدأ» مندل إلى قاعدة إمبيريقية: قاعدة السلوك الملاحظ للخلايا وأشكال التحول فيها. وفي ما بعد سوف تظهر مبادئ جديدة مع اكتشاف الدنا D.N.A وقواعد تكرار نسخه المطابقة. لكن هل هذه مبادئ حقيقية أم أنها مجرد قواعد؟ يصعب أن نفصل القول في هذا، مادام علم الوراثة في منطقة وسطى ولم يرسُ بعد على مبادئ عمومية خاصة به وحده، وعلم الوراثة في هذا، مثله مثل بقية علوم الحياة، وفضلا على هذا، ربما تكون علوم الحياة لا تحتاج إلا إلى مبادئ على درجة عالية من الاستصواب - أي قواعد يتواتر التحقق منها - وليست قواعد قاطعة بشكل مطلق.

أما الفيزياء فهي قصة أخرى مختلفة بالمرة، حتى وإن كان الأمر يتوقف فقط على مزاعمها الطموحة بامتلاكها مبادئ عمومية. ونحن نعلم أن مثل هذا التوجه نشأ - على وجه التقريب - في لحظات انهيارها الماضية ثلاث مرات على الأقل، وقد تحدثنا بالفعل عن تلك الحقب التي تميز نشأة علم جديد: النسبية الخاصة، وتبعتها النظرية النسبوية للجاذبية ، وأخيرا ميكانيكا الكوانتم. في كل مرة يبتلع العلمُ الجديدُ العلمَ القديمَ، العلمُ الجديدُ يقتات على مادة العلم القديم ويسترجعها في صورة تختلف اختلافا يسيرا. ميكانيكا نيوتن - مثلا - أصبحت قوانين خاصة في ميكانيكا الكوانتم النسبوية، أي أنها محصلة لمبادئ أكثر عمومية. معظم القوانين تنطبق في مجال معين بدقة، ترسم حدوده الفروض المستخدمة لاستنباطها من المبادئ. والقوانين في هذا تختلف عن المبادئ من حيث إن هذه الأخيرة تكون عموميتها بمقتضى التعريف مطلقة. وهكذا انخفضت مرتبة مبادئ الميكانيكا الكلاسيكية لتصبح مجرد قوانين، وتبدى أمامها مجال انطباقها

وهو ينحصر في ظواهر معينة: الظواهر ذات السرعات الصغيرة مقارنة بسرعة الضوء، وحيث يكون ثابت بلانك أضأل كثيرا من أن يقوم بأي دور ذي مغزى.

وهكذا يبدو التطور التاريخي للعلم - ويا للغرابة! - شاهدا ومصدقا على وجود مبادئ عمومية، أو على الأقل يعضد ثقتنا بوجودها. وأيضا يستدعي منا الحذر، لأنه يوحي إلينا بأن مبادئ عصرنا الراهن ربما لا تعدو أن تكون انعكاسا لمبادئ أخرى لا تزال مجهولة. على أي حال، سيكون خطأ فادحا لو اتخذنا نظرة تبسيطية يمكن أن تجعل من العلم مجرد مجال مؤقت لقيمنا الإنسانية، أي شيئا ما تتغير طبيعته بتغير الزمن، حيث تكون يقينيات الماضي مجرد معتقدات بالية تخلفت عن عصر بائد. إن مراجعات المبادئ التي تحدثنا عنها الآن قد دفعت بنفر من الفلاسفة إلى المجاهرة بأن قوانين العلم عرضة للطعن والانجراح، تتغير مع كل اكتشاف جديد، بل وحتى بتغير روح العصر، وتحاول دائما أن تستعصم وتبقى. وفي هذا تجاهل لحضور الواقع الماثل واليقظ.

تلك الملحوظة المذكورة عاليه تستحق أن نفصل الحديث فيها، لأنها في الأعم الأغلب تتعرض لسوء الفهم. بعض النقاد ينصب تركيزهم على الألفاظ المستخدمة في صياغة المبادئ إبان عصر معين، بدلا من أن يهتموا ببنيتها الصورية والرياضية. ومجددا، نجد قلة العناية بالبنية الصورية منبعا لسوء فهم جسيم. فإذا اختفت مبادئ معينة بهذه الطريقة، فلن يستطيع أحد أن يغالي في التوكيد على واقعة مفادها أن هذه المبادئ أصبحت قوانين، وأن هذا التغير في المنزلة ناتج من اكتشاف مبادئ أخرى، أكثر عمومية من تلك المبادئ الأسبق. ينبغي ألا نتأثر كثيرا بهذا التحول المفاجئ، بل بالأحرى نتأمل هذا العجب العجاب الذي يتلوه: في كل مرة يضحي فيها العلم بنفسه، كان يرنو إلى ذرا أعلى بدلا من تلك التي تلاشت، فيبلغ درجة أعلى من العمومية. مثل هذه الحقب لا تماثل المسار الشارد للتاريخ البشري، بل بالأحرى تحمل علامة دامغة لا تخطئها العين على مُخْرِج لهذه الملحمة ومدير لحلبة هذا السيرك: إنه الواقع و«فرماناته العالية»، والعلم ليس إلا خادما مطيعا لهذه «الفرمانات» مدونا وحاملا لأختامها.



توماس كون

من المستحيل أن نناقش تطور العلم من دون الاستشهاد بتوماس كون وكتابه الشهير «بنية الثورات العلمية ١٩٦٢»، وهو يعرض في هذا الكتاب دعويين أساسيتين، إحداهما هي، على وجه الدقة، وجود تحولات معينة في العلم أسماها «الثورات»، ولا شك أن هذا مصطلح مغالٍ، كما اعترف هو نفسه في ما بعد، بيد أنه مصطلح يجيد التعبير عن جسامة الأثر الذي يزلزل تمثيل العلم للعالم بين الحين والآخر. الفكرة الرئيسية الأخرى لتوماس كون هي تفضيله للباراديم (= النموذج الإرشادي) على المبادئ. الاكتشاف الخطير له تأثير في مسار العلم راجع إلى الأمثلة التي يطرحها، أكثر من أن يكون راجعا إلى المبادئ التي يمكنها أن تجمل الاكتشاف. هذا التقدم اللافت يشكل نموذجا ليُحَاكى، ومرجعا يستخدم كأساس لأبحاث جديدة، أي باراديم أو نموذج الإرشادي (وكلمة باراديم Paradigm كانت حتى ذلك الحين تستعمل أساسا في التحليل الهندسي لتشير إلى مثال أو شكل يستخدم كأنموذج لأشكال أخرى عديدة). وهكذا، حين قام أويلر بتطبيق منهج نيوتن على ميكانيكا الموائع كان يحرز مغزى أعظم لنجاح ميكانيكا نيوتن، أكبر من أن يكون مجرد تطبيق دقيق لمبادئها على الكتل المائعة.

ومهما يكن الأمر، فليست المقارنة بين الباراديمات (النماذج الإرشادية) وبين المبادئ مقارنة ملائمة لحجتنا الرئيسية. والحق أن الاختلاف بين محاكاة الباراديم وبين تطبيق المبدأ يبدو موضوعا من موضوعات علم نفس الباحثين، وهذا مجال لست أنوي أن أخوض في دراسته ها هنا. ما يفيد مرامينا هو الحكم الذي يصدر على اكتشاف جديد: هل هذا الاكتشاف يؤكد المبدأ الذي نعرفه فعلا أم أنه يناقضه؟ أجل، لا أحد ينكر عناية توماس كون بدراسة التاريخ، على أن دعواه جديرة بأن توضع في إطار منظوري لكي تفيدنا أكثر في تفسير تحولين عظيمين للعلم فشل كون في أن يأخذهما في اعتباره: بلوغ الصورية ونشأة الاتساق. ويبدو لي أن هذين الحدثين كليهما، واللذين لا يعتبران ثوريين لأنهما تطورا مع مرور الوقت ولم يحدثا بغتة، يمكن الظفر بفهم أفضل لهما داخل إطار المبادئ كأحرى من أن نفهمهما في سياق جدلية الباراديمات (النماذج الإرشادية).



من هذه الزاوية، كنا قد بلورنا في موضع أسبق الأهمية التاريخية للمقاربة الصورية والتبيان الجلي لها خلال معادلات ماكسويل. والآن، إذا كانت تلك المعادلات كثيرا ما تلهم بأبحاث جديدة، فلا يبدو أنها قامت بدور البارادیم بسبب من خاصيتها الصورية وإنما بسبب سمات أخرى لها. ولا يبدو أن بارادیم (نموذجا إرشاديا) قد أوحى بنشأة النزعة الصورية، أولا في نظرية النسبية ولاحقا في فيزياء الكوانتم، بل كان هذا أمرا فرضته الضرورة. ومن ثم فإن انبثاقة واحدة من أهم خصائص العلم قد حدثت بتدرج متأنٍّ جدا، بحيث لا نستطيع أن نسميه ثورة، ولم يكن نتيجة لمحاكاة أي بارادیم.

يميل توماس كون إلى ربط دعوييه الأساسيتين ربطا يبدو إلى حد ما مغاليا. كما لو كانت كل «ثورة» لا بد بالضرورة أن يصحبها بارادیم جديد. وعلى هذا يبدو متصل التقدم العلمي وكأنه مقسم إلى حقب متراتبة، مثل حلقات المسلسل التلفزيوني. جينات مندل وبنية اللولب المزدوج للدنا .D.N.A، اللتان اكتشفهما كريك وواطسن، نموذجان إرشاديان ونقطتا بدايتين لثورتين. بيد أن الاتصال بينهما - قطعا - أكثر أهمية من التفاوت والتباين.

ومع ذلك، يقدم مصطلح «الثورة» وصفا مكتملا لأحداث خاصة معينة، من قبيل التحولات الثلاثة المذكورة عاليه، التي حدثت بميلاد النظرية النسبية والنظرية النسبوية للجاذبية وفيزياء الكوانتم. كل واحد من هذه الأحداث الثلاثة كان أزمة حقيقية، لم يحدث أن مر بها العلم من قبل. على أن الشيء المهم ليس في الأزمة بل في محصلتها: مبادئ جديدة على درجة عالية من الصورية. وهذا شيء لم يستطع توماس كون أن يراه من خلال عدسات نماذجه الإرشادية، لأنه لم يكن ثمة قصور في النماذج الإرشادية لذلك الوقت، بل كان العديد منها يطرح كل عام، إنها ألعاب نارية وانعكاسات زائلة متغيرة تزيغ لها الأبصار. فهل يستطيع أي مراقب لها أن يراها فعلا؟

إذا صوبنا البصر ليس فقط على تبدل البارادیم، بل على التحولات الجوهرية حقا، أي التحولات المتعلقة بالمبادئ، فسوف ندرك أن تطورا طويل المدى قد حدث مصحوبا بثورات هي في مجموعها ثلاث، على الأقل في

الفيزياء فقط. ولا يبدو من المسوغ أن نعمد، كما يفعل البعض، إلى عملية تقدير استقرائي لهذا لنخرج منها بأن سيلا جارفا من الثورات سوف ينهل في المستقبل. كم ثورة حدثت أمامنا؟ كلها معا ثلاث ثورات. ويا له من استنتاج عجول متهور أن نخرج من هذا بنتيجة مفادها «ثورة، ثورتان، ثلاث ثورات. ثورات على الدوام»! وسوف ألزم جانب الحذر فلا أتنبأ بنهاية الثورات العلمية، ولكن لي الحق في اعتبار هذا اختيارا متاحا، تماما مثلما أن النقيض اختيار متاح (*).

وعلى ذلك سوف أوضع بلا شك في صفوف المحافظين، وإني لأسمع فعلا تلك المعزوفة القديمة: اعتقد الفيزيائيون أن العلم بلغ غايته في نهايات القرن التاسع عشر، وعلى وجه الدقة حين كانت التحولات الجذرية فيه تتشكل. فلتحذر دائما من إعادة ارتكاب مثل هذا الخطأ! لكن من يملك إصدار الحكم أن هذا سوف يكون خطأ أيضا في المرة

(*) نرى أنه يصعب قبول هذا القول من المؤلف وما سيتلوه. فليس الطرفان متاحين كما يزعم، لأن الطرف الذي اختاره غير قائم أصلا، من ذا الذي يقبل الزعم بأن ثورة علمية كبرى لن تحدث بعد الآن، ومن يقبل الآن أن تقدما علميا. مهما كان جليل الشأن كالصورنة أو الاتساق أو سواهما. يمكن أن يكون خاتمة المطاف التي لا تقدم بعدها. وفي هذا لن نخوض في جدال مع أومنيس بل سوف نتوقف فقط مع جورج غاموف (١٩٠٤-١٩٩٠)، وهو من كبار علماء الفيزياء، اشتهر بأبحاثه في انحلال نويات الذرات وما يصحبه من نشاط إشعاعي، وسواها. ونعتذر قبلا عن طول اقتباسنا من غاموف. لكنه ضروري لكي نوضح كيف كان موقفه مماثلا لموقف أومنيس. وكيف كشفت الأيام عن خطئه. يقول صاحب نظرية الانفجار الكبير جورج غاموف (في كتابه: واحد... اثنين... ثلاثة... لانهاية. ترجمة إسماعيل حقي، مراجعة د. محمد مرسي أحمد، مكتبة النهضة المصرية، ١٩٥٨، ص ٢١٥) في شأن اكتشاف الجسيمات النووية: «وقد نتساءل، لكن هل هذه هي النهاية؟ على أي أساس يحق لنا أن نفترض أن النويات والإلكترونات والنويترينات أولية فعلا، وأنها غير قابلة للتجزئة إلى أجزاء أصغر؟ ألم يكن مفروضا إلى منذ نصف قرن فقط أن الذرات غير قابلة للتجزئة؟ ومع ذلك فما أعقد الصورة التي تمثلها اليوم؟ والجواب هو أنه على الرغم من أنه لا توجد - بالطبع - أي وسيلة للتنبؤ بتطور علم المادة في المستقبل، فإن لدينا الآن أسبابا أشد وجاهة تدعونا إلى الاعتقاد أن جسيماتنا الأولية هي الوحدات الأساسية فعلا، وأنه لا يمكن تجزئتها إلى أبعد من ذلك. وفي حين أن الذرات، التي كان يزعم أنها «غير قابلة للتجزئة»، كان معروفا أن لها خواص متعددة معقدة عن كيماوية وبصرية وغيرها، فإن خواص الجسيمات الأولية في علم الطبيعة الحديث بسيطة للغاية. في الواقع يمكن مقارنة هذه الخواص في بساطتها بخواص النقط الهندسية. يضاف إلى ذلك أنه بدلا من عدد كبير من ذرات علم الطبيعة الكلاسيكي غير القابلة للتجزئة لم يعد لدينا إلا ثلاث وحدات جوهرية مختلفة وهي النوويات والإلكترونات والنويترينات. وعلى رغم رغبتنا الملحة في اختصار كل شيء إلى أبسط صورة فليس من الممكن اختصار شيء إلى لا شيء. وهكذا يبدو أننا وصلنا فعلا إلى خاتمة المطاف في بحثنا عن العناصر الأساسية التي تتألف منها المادة».

وبطبيعة الحال كشفت الأيام عما هو أكثر أولية وأساسية من الجسيمات، عن الكواركات والغليونات التي لم تخطر بحال على ذهن غاموف ،فكيف يضمن أومنيس عدم حدوث تقدم جوهري في المستقبل، لا يخطر على باله الآن؟!

انظر أيضا: سام تريمان، من الذرة إلى الكوارك، الترجمة العربية، سلسلة عالم المعرفة ٢٠٠٦ [المترجمان].



المقبلة؟ ألن يكون أدعى إلى الحكمة أن نتجنب إصدار الأحكام القاطعة ونقتصر على طرح السؤال: إذا كنا قد أخطأنا ذات مرة، فهل يتبع هذا أننا سوف نخطئ في كل مرة؟

دعنا نلحظ عن كثب أوجه التماثل بين تفكير توماس كون وتفكير ميشيل فوكوه في كتابه «الكلمات والأشياء». اعتبر توماس كون العلم في العصر المعني كتراتب من البارادايمات (= النماذج الإرشادية) ومحاكاتها، الكل يتشارك في المنبع الواحد. أما بالنسبة إلى فوكوه، فالمسألة هي المجموع الكلي للإنجازات العقلية التي تترابط معا، والتي أسماها معارف émépisté القرن. في كلتا الحالتين جمهرة المفاهيم، المعارف أو البارادايم، يمكن أن تكون مؤشرات موائمة تماما على تاريخ العقليات، لكن لا شيء يربط بينها وبين الواقع، وهو الشيء الوحيد الوثيق الصلة بالعلم.



15

المنهج

نحن الآن بصدد متابعة بحثنا لوضع السؤال، وهذه المرة بالتركيز على منهج العلم. وهذا الموضوع لا يمكن تجنب البحث فيه، وخصوصا مع ما يتواتر كثيرا من إنكار لوجود مثل هذا المنهج. وبطبيعة الحال أنا أفكر الآن في فييرآبند وأشياعه. دعنا نلقِ نظرة.

منهج للحكم وليس للبناء

مع كل ما يتسم به العلم المعاصر من رحابة ومن اتساق، لا يملك المرء أن يمتنع عن الدهشة والتساؤل عن مصدر مثل هذه السمات، بل وعن كيفية وجود العلم ذاته أصلا. بالقطع الواقع هو العلة، ولكن ما هو المنهج الجبار الذي نسائل به الواقع لنحصل على مثل هذه الإجابات الباذخة، والتي تكون غريبة في بعض الأحيان؟

بيكون أو ديكارت استخدما كلمة «منهج» بمعناها العادي، قاعدة للسلوك تفضي بلا هوادة إلى المزيد من المعرفة: إنه منهج لبناء العلم. وبهذا المغزى يكون ثمة تناقض بين نقد بيكون للفلسفة وبين اعتقاده بقوة المنهج.

«الحق أن المنهج يقتصر على تزويد العلم بإطار وليس أبدا بقانون يحكم تاريخه»

المؤلف



والحق أن افتراض وجود مثل هذا المنهج مصادرة فلسفية. إن المنهج الذي يتولد عنه العلم بيقين كافٍ يفترض قبلا امتلاك مبدأ من نظام أعلى من الأنظمة التي يمكن اكتشافها في خاتمة المطاف من خلال اتباع ذلك المنهج. وقد امتلك ديكارت بالفعل مثل هذا المبدأ: إنها نجابة العقل الذي تبدو أمامه كل الأشياء واضحة متميزة. يفترض بيكون أن الواقع «يتحدث» بالأصالة عن نفسه، ويكفي أن تطرح عليه السؤال. وتأدى به هذا إلى وضع ثقة عمياء تقريبا في الاستقراء. وإني أفضل البديل الآخر الذي يطرحه بيكون حين يتحدث عن «أنْ تتقدم خطانا بانتظام وتدرج من بديهية إلى أخرى، فلا نصل إلى أعم البديهيات إلا في خاتمة المطاف». هذه المقاربة تنتوي نزع المبادئ الفلسفية من شجرة الخبرة، بما فيها المبادئ المرشدة للعلم.

إن المنهج الذي سوف نبحث عنه ليس منهجا لبناء العلم، بل منهج للحكم على العلم بعد أن يُبنى، من دون أن نفرض منذ البداية الشكل الذي ينبغي أن يتخذه هذا المنهج. بشكل أساسي، يتوقف هذا المنهج على مجموعة من القواعد العملية لتقدير نوعية التناظر بين التمثيل العلمي وبين الواقع، إنها فئة من المعايير لاختبار الصدق، أو بالأحرى لاختبار الاتفاق مع الواقع. وحين نفهم «المنهج» بهذا المغزى، فلن يشتمل على الطرق المعينة التي قد يسلكها الباحثون لجمع المعلومات أو لصنع الاكتشافات. هذا التصور للمنهج يتعلق بالبشر من حيث إنهم يعملون التفكير في المعرفة المتراكمة بدلا من أن يكون معنيا بأولئك الذين يبحثون عن زيادة تلك المعرفة. إنه منهج مقتصر على العلم، الذي يعينه بوصفه متفردا مختلفا تماما عن كل الأشكال الأخرى لتمثيل الواقع.

أي منهج؟

مسألة المنهج محل مناظرة وخلاف شديد بين المتخصصين في الإبستمولوجيا. من ناحية تبدو الصعوبة ناشئة عن خلط بين سؤالين مرتبطين لكنهما مختلفان تماما: كيف يكون الاكتشاف ممكنا؟ كيف استطاع الجنس البشري أن يقيم الاتفاق بين المعرفة والواقع؟ والسؤال الأول هو الذي يؤدي إلى الخلاف والجدال، بينما نحن معنيون أساسا بالسؤال الثاني.

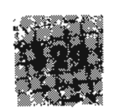


من الأسهل أن نبدأ بالحديث عما لا يكونه المنهج. ليس المنهج مشروعا للبحث، أو تجميعا لقاعدة البيانات، ولا هو فئة من قواعد السلوك «لهداية العقل» في حله للمشكلات عن طريق ردها إلى شكل بسيط أو حتى سطحي، كما اعتقد ديكارت أنه قد فعل. لا أريد ترك انطباع أنني اعتبر مثل هذه المشاريع أو المسالك عقيمة غير مجدية. بيد أنها تنتج جهودا قد تكون منظمة وفعالة، لكن ليست علمية تحديدا.

ما المنهج العلمي إذن، إذا كان لمثل هذا المنهج وجود؟ لو أن توماس كون على صواب، وكان تقدم العلم محض تتابع من انهيارات ما هو مطروح كـ«بارادیمات» للمحاكاة، فإني أميل إلى الإجابة عن هذا السؤال بالنفي. ففي هذه الحالة سيكون لدينا العديد الجم من المناهج بقدر ما لدينا من بارادیمات عديدة جمة، تتغير بتغير روح العصر وتكون أقرب إلى الإلهام منها إلى قاعدة السلوك. بل إن فييرآبند اشتط إلى ما هو أبعد، وأنكر جهارا نهارا وجود منهج لتشييد نسق العلم.

من الأهمية بمكان أننا نعمل على تحديد ما هو العلم الذي نتحدث عنه، وما هو غرض المنهج. إن العلم الابتدائي، والذي لم يمتلك بعد فصاحة التعبير عن مضمونه، أو العلم الإمبيريقي على أفضل الأحوال، لا يمكنه استبعاد وجود منهج فائق القدرات يمكن أن يكفل له اليقينيات ومصداقية مفاهيمه المقلقلة. ولذلك سوف نقتصر على العلوم التي بلغت مرحلة عالية من الاتساق، تلك النُصُب الماثلة من المعارف التي نعتها روجر بنروز R. Penrose بأنها «باهرة فاخرة». إنها تلك العلوم التي تثير الدهشة والإعجاب وتملأ العقل اقتناعا.

أما عن غرض المنهج، فنقول مجددا إنه لا يمكن أن يكون شفرة للسلوك مصحوبة بوعد بالوصول إلى نتائج: كفيل مضمون أو رأسمال مصون. من الواضح أن امتلاك منهج من شأنه أن يكشف عن صميم طبيعة الواقع إنما يفترض مسبقا معرفة بالواقع مكتملة تقريبا. لا يوجد منهج يرسم خريطة السير في أراض مجهولة. هذه الحجة البسيطة أقنعتني أن نقد فييرآبند صائب من ناحيةٍ، هذا إذا كان واضحا. تؤكد الأمثلة التي يطرحها على هذا الانطباع، ولذلك سوف نترك هذا المنهج الذي كان جذابا ومبتغى يوما ما، وأصبح الآن فكرة عتيقة بالية.



المنهج الذي سوف نناقشه هو المنهج الذي يسمح لنا، بعد أن يقوم العلم وينجز هيكل معارفه، بأن نعرف ما إذا كان هذا العلم قائما على أساس سديد، وما إذا كان ما أنجزه هيكلا متسقا من المعارف.

ومادمنا نُعَرِّف المنهج بهذه الطريقة، فإننا نفترض ضمنا أن الواقع يمكن معرفته (على الأقل بصفة جزئية) باستخدام معياري العمومية والاتساق المنطقي. وقطعا هذا فرض بالغ القوة، إلا أنه يجعل المنهج مناظرا للدليل، وربما يدهشنا هذا، بيد أن المنهج مناظر للدليل من حيث تفرضه الوقائع فرضا لا سبيل لصده ويتأكد بمرور الوقت.

وأخيرا، يستحيل أن نتحدث عن المنهج من دون أن نذكر كارل بوبر ومعياره الرئيس، الذي يجعل العلم مقتصرا على صياغة قضايا يمكن تفنيدها تجريبيا. والآن أصبح الشرط البوبري كلاسيكيا ويمكن التسليم به. والمنهج الذي سوف نناقشه ها هنا يندمج مع هذا تماما.

منهج رباعي المراحل

هناك منهج ذو تعريف جيد ويبلور العلم تحديدا. وسوف نسميه المنهج رباعي المراحل، لأنه يتضمن أربعة مناشط مختلفة للخبرة وللفكر، وهي تناظر، أحيانا وليس دائما، المراحل الأربع لتاريخ العلم. والأحرى أنها أربع بنيات للمعرفة تتكامل معا، وسوف نسميها الإمبيريقة وصياغة المفاهيم والتطور والتحقق.

ينتشر هذا المنهج في الفيزياء المعاصرة، وهو جزء من «تراثها الشعبي» للفيزياء، بمعنى تلك الأشياء التي يعرفها الجميع، ولكن لا نعرف أين موضعها على وجه التحديد. ويمكن أن نتتبع أصوله بالعود إلى بيير دوهيم وكتابه «نظرية الفيزياء La Théorie physique»، حيث يُعرض هذا المنهج عرضا كل ما فيه واضح، باستثناء بعض التفاصيل الصغيرة الراجعة إلى ما دأب عليه العصر من حضور مكثف للخاصة الصورية للعلم. على أنه من غير المحتمل كثيرا أن هذا الكتاب كان ذا تأثير كبير، لأنه لم يكن ذائع الصيت في الأوساط العلمية. لذلك ثمة مصادر أخرى يمكن الارتكان إليها أكثر، وهي مراسلات آينشتين أو مقالات هيزنبرغ أو كتاب ريتشارد فاينمان R. Feynman «طبيعة القوانين الفيزيائية».



وهذا يجعل المراحل الرباعية محل البحث تناظر إلى حد كبير المراحل المختلفة في تاريخ الميكانيكا الكلاسيكية التي ناقشناها بالفعل، مما يجعل الميكانيكا الكلاسيكية مثالا ملائما. تتألف المرحلة الإمبيريقية، أو الاستكشافية، من ملاحظة الوقائع وإجراء التجارب «لكي نرى ما يحدث»، إنها تجميع قائمة مفهرسة من المعطيات، وفي النهاية نتوصل إلى القواعد الإمبيريقية. ها هنا نتحسس ملاحظات وقياسات تيكو براهه وغاليليو، وبالمثل قواعد كبلر الإمبيريقية لحركات الكواكب وقواعد غاليليو لسقوط الأجسام. من الواضح أن مجال المعرفة في هذه المرحلة لم يصبح بعد علما ناضجا ومتسقا.

المرحلة الثانية هي مرحلة صياغة المفاهيم، أو بالأدق مرحلة التصور. إنها تتألف من التطور وانتقاء المفاهيم الملائمة التي تتيح تمثيل الواقع، اختراع مبدأ، أو مبادئ، يمكنها أن تحكم هذا التمثيل. ونحن نستخدم هنا مصطلح «اختراع invention» وليس «اكتشاف discovery» بتعمد وعن قصد. فالحق أنه لا يوجد اكتشاف إلا بعد التحقق. مادام يستحيل وصف طريقة الاختراع، فإن هذا الوجه للتصور لن يكشف أبدا عن أرومته ونشأته. قد يشرحه العديد من العلماء بأساليب مختلفة. بعضهم قد يحاول تبريره عن طريق تسلسل منطقي:«المثال الذي يشرح هذا المفهوم أو ذاك ينبغي أن يكون مثالا مركزيا، والظاهرة التي يمثلها يجب أن تسير بشكل قطعي يقيني، وذلك المثال الآخر يجعل مجال الاحتمالات أضيق، إلا أن ثمة مثالا يدفعني إلى مواصلة البحث. لذلك أسأل نفسي عما إذا كان هذا الفرض تحديدا هو أبسط الفروض.... لقد حاولت ووجدته!».

بعض الأمثلة غير العقلانية بالمرة قد تعارض هذا النوع من الشرح المنطقي، من قبيل اختراع كيكوليه للبنية الدائرية للبنزين: فقد رأى في المنام أفعى تعض على ذيلها. «بيد أن جزيء البنزين، بطبيعة الحال، حلقي الشكل!»، وأيضا ربما نقول - بصرف النظر عن الظروف الخاصة - إن تلك هي مرحلة العبقرية، بالمعنى الاشتقاقي لأصل هذه الكلمة (*).

(*) ربما نلحظ هنا إشارة من المؤلف إلى الأصل اللغوي المشترك بين كلمة: منشأ أو أرومة أو أصل genesis، وبين كلمة عبقرية genius [المترجمان].



قد نحاول أن نتخيل كيف شق نيوتن طريقه في مرحلة التصور تلك، وهو يحاول صياغة الديناميكا. كان عليه أولا أن يحدد مفاهيم الكتلة والقوة والموضع والسرعة، وأيضا أن يخترع مفهوم [العجلة] التسارع. وفي نهاية المطاف حلّ في المبدأ مفهوم العجلة، وليس مفهوم السرعة، غير أن هذا لم يكن واضحا بالمرة. هل اخترع نيوتن القانون الذي يحمل اسمه بعد أن وضع في اعتباره بضعة احتمالات، أم أن هذا القانون فرض نفسه على عقلية نيوتن؟ قال نيوتن إن البديل الثاني هو الذي حدث، وكثيرا ما نجد مع مكتشفين آخرين استضاءة يصحبها إحساس باليقين. هذه النوعية من المعرفة المباغتة، التي يمكن أن نسميها معرفة من النوعية الثالثة، كما فعل سبينوزا، معرفة رائعة مدهشة، بيد أنها أيضا قد تكون مضللة. لذلك يؤسفنا أننا سوف نصنفها على أنها ضمن الجوانب الإنسانية للعلم، وهذا مجال يقع خارج نطاق مناقشتنا الراهنة.

أما المرحلة الثالثة، أي التطور، فإنها على العكس من ذلك سوف تسترشد بالمنطق، حتى ولو كان التطواف في بعض الأحيان وعرا. إنها تتألف من فحص كل المحصلات الممكنة للمبادئ، حتى إن كلفنا هذا الكثير من الجهد ومن الخيال. في معظم الأحوال، لا نأخذ في اعتبارنا إلا محصلات معينة، وهي أساسا تلك المحصلات المتعلقة بالوقائع المعروفة. هكذا بدأ نيوتن باختبار مبادئه على الحركة الكوكبية وعلى الأجسام الساقطة. وفقط بعد هذا، بمرور الوقت وبفضل أعمال الكثيرين، أتت المغامرة الأكثر طموحا المعنية بمجمل المحصلات.

في حالة الفيزياء، غالبا ما يأخذ هذا التطور شكل الحسابات، مادام التمثيل الجديد الذي يجب وضعه موضع الاختبار قد صيغ في حدود رياضية. ومن الناحية العملية، لا تتخذ البيولوجيا هذا الوضع قاطبة، حيث إن منطق الحس المشترك ها هنا، المستضيء بقاعدة معارف مديدة، لا يؤدي دورا إلا خلال عملية التعليل. من هذه الناحية نجد كتاب تشارلز داروين «أصل الأنواع» مثالا كاشفا وموضحا وملهما.

المرحلة الرابعة هي التحقق. ويشير إليها كارل بوبر حين يتحدث عن ضرورة أن تكون النظرية عرضة «للتكذيب»، أي أنه يجب أن يكون من الممكن تفنيدها (*). إن النظرية أو الفكرة أو المبدأ حتى ذلك الحين مجرد فرض

(*) ناضل كارل بوبر نضالا مستميتا كي لا يُعتبر مبدؤه في قابلية التكذيب - الذي يبحث عن الحالات النافية والتفنيد - مناظرا أو مطابقا لمبدأ التحقق الذي يبحث عن الإثبات والحالات المؤيدة، أو شبيها له بحال، أو مجرد عكس منطقي له. على أي حال، يمكن التماس العذر في آن بوبر كان يحارب مبدأ التحقق من حيث هو مبدأ أساسي في فلسفة الوضعية، فضلا على أن أومنيس في معالجته للأمر يعول كثيرا على الحالات النافية والتفنيد [المترجمان].



مسلح بتنبؤاته، وفي مرحلة التحقق تتطوع بأن تجعل نفسها عرضة للتفنيد. من الناحية النسقية، كل فرض معرض لاختبار الخبرة. ماذا يقول هذا الاختبار بشأن التنبؤ، هل هو صادق أم كاذب؟ ما الذي تفصح عنه الآلاف المؤلفة (وهذا الرقم ليس مبالغة في حالة ميكانيكا الكوانتم) من التنبؤات والتجارب؟ إذا كانت الإجابة دائما بالإيجاب، فإن الفكرة حينئذٍ صادقة قطعا، وتراها الطبيعة منتمية لصميم الأشياء ولب لبابها. فهل كانت الإجابة بالنفي، ولو حتى في مرة واحدة؟ إذن هذا لأن النظرية كاذبة، أو على الأقل غير مكتملة. لابد من رفضها، أو على أفضل الفروض لا نستطيع الوثوق بها ما لم تظهر إيضاحات جديدة لحالة التكذيب. أما عن التحقق الصادق لنظرية «باهرة» تعمل على توحيد مجال رحيب من المعارف، فإننا لا نحصل عليه إلا إذا لم تكن توجد أي تجربة ألبتة، ونؤكد على «ألبتة»، تأتي إجابتها داخل نطاق النظرية إجابة نافية. وإلا فإن الصرح المهيب سوف يترنح ولن يمكن الحفاظ عليه إلا عن طريق تحول عميق سوف ينشأ عنه مستوى أعلى من الاتساق.

طبيعة المراحل الأربع

من السذاجة بمكان أن نتوقع من هذا المنهج أن يكشف عن ذاته في كل مرة يولد فيها علم أو يخضع لتحول وتبدل. والحق أن المنهج يقتصر على تزويد العلم بإطار وليس أبدا بقانون يحكم تاريخه. في بعض الأحيان قد تختفي مراحل معينة، وقد يكون اختفاؤها راجعا إلى أنها اكتملت بيسر بالغ وسار اكتمالها دون أن يلفت الأنظار. قد تكون الملاحظات الأولية واضحة جلية لدرجة أن المرحلة الثانية لا تتطلب أي بصيرة مترفقة، أو ربما لا تعدو مرحلة التطور أن تكون صياغة حجة أساسية. والتاريخ بدوره قد تكتنفه صعوبة تحديد المراحل المختلفة، وكثيرا ما يكون هذا هو الوضع. ودعنا نزدْ على ذلك أن المنهج الذي نناقشه ها هنا لا ينطبق على الرياضيات، إنه يتعلق فقط بالعلوم الفيزيائية، وموضوعها هو دراسة الواقع في أي صورة من صوره.

أما وقد قمنا بتحليل المنهج، فإنه من الأسهل الآن أن نفهم كيف يتم تشييد التمثيل العلمي، ونفهم علاقته بالواقع. إن الواقع مجموع مضاعف، ماثل في بداية العملية وفي نهايتها، الواقع هو قائد هذه العملية ولا شيء يعد

صحيحا من دون تصديق الواقع وموافقته. خلال الحقبة الاستكشافية، يتقدم الواقع بالمعلومات الضرورية لكي تبدأ عملية الفكر. ويأخذ الواقع دوره في مرحلة التحقق، التي قد تدوم بضعة قرون، وذلك أنه لا يعطينا أي إجابة نافية إزاء تتابع التنبؤات التي يناضل العلماء لجعلها مكتملة. وحينئذ فقط يمكننا اعتبار معارفنا يقينية، على قدر ما يحمل هذا المصطلح من معنى، إن كان له معنى.

أما المرحلة الثالثة، مرحلة التطور، فهي تدريب منطقي رحيب، والجانب الذي يؤكد عليه تدريس العلم أكثر من سواه، وعلى قدر ما يبدو هذا للعين غير المدربة كأنه نموذج أصلي للمنهج العلمي. ويُحدِث هذا بصفة جزئية شيئا من التوازن من التوجه الوخيم للتحقق الذي أسرف كارل بوبر في التأكيد عليه (*) من حيث إنه يحمل مخاطرة زعزعة استقرار البناء بأسره. في تشييد تمثيل ما، نجد أن الدور الأساسي للتطور هو تمهيد الأرض من أجل المرحلة الرابعة: التحقق.

إن المرحلة الثانية، مرحلة التصور، مرحلة رائعة وتفتن ألباب سائر أولئك الذين يهتمون بالإنسانيات أكثر من اهتمامهم بالعالم المحيط بنا. وقد يدخل أصحاب النزعة الرومانتيكية في هذه الصورة، فهم يعجبون بعمل عبقري أحرز وضوحا فذا أتى جزاء لبحث عنيد لا يكل ولا يمل. إنه التقاء بالتَزار كلائس Balthazar Claës – تلك الشخصية التى رسمها بلزاك – بالمطلقية absolutness (**). هذه المرحلة التي غالبا ما تكون مدهشة ورائعة، قد تكون أيضا مربكة ومحيرة بسبب من عنصر ما غير منطقي

(*) أجل أسرف بوبر إسرافا في تبيان كيف أن الاعتماد على التحقق، بمعنى البحث عن الأمثلة المؤيدة للقضية العلمية، ينسف منطق البحث العلمي. وهذا ما تبلوره مشكلة الاستقراء، حيث إن الاعتماد على كل حالات التأييد لا يجعل القضية مثبتة... ملايين البجع الأبيض لن تثبت صدق القضية «كل البجع أبيض»، فماذا لو ظهرت بجعة سوداء؟ حالة نفي واحدة تثبت كذب القضية، وملايين الحالات لا تثبت صدقها. وكما هو معروف منطق البحث العلمي عند كارل بوبر هو منطق التكذيب [المترجمان].

(**) بالتَزار كلائس Balthazar Claës هو بطل رواية كتبها بلزاك العام ١٨٣٤ بعنوان «البحث عن المطلق»، وهو بلجيكي ثري من الطبقة البورجوازية. كان يعيش حياة رغدة منعمة، حتى تقابل مع عالم ورياضياتي بولندي راح يحدثه عن أبحاثه ومحاولاته الدؤوبة للبحث عن المبدأ المطلق للمادة. وهنا انقلبت حياة كلائس رأسا على عقب، إذ تملكه النزوع إلى البحث العلمي، فهجر الأهل والأصدقاء وتفرغ له تماما، وأنفق ثروته على المعامل والخامات التي يمارس من خلالها أبحاثه، محاولا اكتشاف المبدأ المطلق للمادة، حتى أفلس ولم يصل في النهاية إلى شيء [المترجمان].



وغير عقلاني (حلم كيكوليه مثلا) قد يقتحم مسارها عرضا، وبسبب من إيماءات وعوامل مصاحبة وأوجه شبه قد تُغيِّر جميعها على العقل المبدع الخلاق. إن المراقب العقلاني الذي تشكلتَ نظرته في حدود التعليم التقليدي فيرى العلم معادلا للسلوك المنطقي الخالص من جانب الباحث، سوف يندهش لاكتشاف مسار للعقل الجياش لا يمكن التنبؤ به، إنه مسار رسم آرثر كوستلر صورة جيدة له في روايته «السائرون نياما». ومع هذا فإنه من المحتمل إلى حد كبير أن تكون تلك الجوانب اللا عقلانية محصلة لنشاط عقلي مكثف يحكم كل مكوّنٍ من مكونات الشخصية. وأخيرا بعد لأي، يكتسح السكون ذلك الطنين المحموم للعقل، حالما يتم إحراز الهدف. وحينئذٍ يعمل المؤلف على تنسيق كل شيء بعناية بالغة، وتتخذ النتيجة الشكل المُراعي للقواعد والمتفق عليه للنشر العلمي، حيث لا يبقى ولا يتمثل فيه إلا الأفكار العمدة، مثلما تخرج فينوس من عباب البحر لتتهادى وقدماها نقيتان من كل أثر للحبَب وزَبد الماء.

إذا اختار المرء أن يعطي الأسبقَية والحظوة للواقع، فسوف تحط الدهشة من كل صوب وحدب. إن المخ نجيب الواقع، إنها رقصة الباليه التي يرقصها الواقع مع نفسه، يولّد المخ صورا للواقع تكون مكتملة بقدر ما كانت غير متوقَعة ألبتة.

الدرس المستفاد من المحاولات الفاشلة

تنعكس صورة شائهة لعملية الكشف العلمي، من حيث إن المعتاد في المسائل العلمية ألا يستبقي التاريخ ولا تستبقي البرامج الدراسية إلا المحاولات الناجحة. وقد يبدو أيضا أن الأفذاذ هم فقط القادرون على «توليد» العلم. على أن أخطر النتائج الوبيلة لتجاهل المحاولات غير الناجحة قد تتمثل في ترك انطباع بأن التحقق مجرد إجراء شكلي. عندما يجد العقل البشري تفسيرا كاملا لإحدى ظواهر الطبيعة، أو عندما يكتشف مبدأ عموميا من مبادئ الطبيعة، ينطلق إحساسنا بالعجب حتى أننا لا نستطيع تصور الطبيعة وهي ترفض أن تصدق على تلك المعجزة وتباركها. وليس الأمر هكذا ألبتة، وعلى العكس من ذلك نجد أن المحاولات المجهضة كفيلة بإلقاء ضوء كثيف.



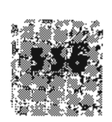
لاتزال فيزياء الجسيمات الذرية علما في صدر الشباب، ومعظم المتخصصين فيه مازالوا على قيد الحياة. إنهم يتذكرون العدد الجم الوفير من النظريات التي جرى اقتراحها وطرحها إبان الأربعين عاما الماضية، وهذا المبدأ أو ذاك الذي جرى التحقق الكمي من محصلاته عن طريق كوثر من معطيات. ومن ثم انطلق باحثون كثر صوب تنبؤات جديدة يمكنها أن تؤكد مكتشفات سابقة. وانطلقت تجارب تستخدم معجلات كبرى، وللأسف كثيرا ما تنقض واحدة أو أكثر من هذه التجارب النتائج المتوقعة، أو نخرج منها بقيمة لمعلمparameter تختلف عن القيمة المتنبأ بها. في بعض الأحيان لا يكون هذا مضيعة تامة للجهد، ويمكن أن تكون النتائج التجريبية قد أوعزت في نهاية المطاف باحتمالات جديدة. وعلى أسوأ الفروض، قد تكون الاطرادات التي كشفت عنها النظرية المجهضة ترقى إلى مراتب القواعد الإمبيريقية.

ومن الشائق حقا أن نستعيد في الذاكرة خطى طريق طويل أفضى إلى اثنين من الاكتشافات الكبرى في فيزياء الجسيمات - توحيد التفاعلات الضعيفة والتفاعلات الكهرومغناطيسية واكتشاف الكواركات - وذلك من دون حذف السبل المرفوضة، وهذا ما نجد وصفا سديدا له في أبيات ريلكه التي تقول:

إن السبل تفضي إلى حيث لا آين
كما لو كانت المصادفة قد حادت بها عن الصراط
وهكذا ضلت السبل الطريق

ضخمة هائلة... هي المقبرة التي تضم رفات الأفكار الجيدة، وليس هذا مقتصرا على فيزياء الجسيمات الذرية. يطوف بذاكرتي، وابتسامة هازئة على الشفتين، مثل تهكمي ينفعنا كأنشودة ننعى بها زوال فكرة لم تفلح في مقاومة اختبار الملاحظة، فكرة في الكوزمولوجيا كانت ذات يوم أثيرة لدي: «لا شيء مثير للرعب أكثر من الاغتيال السافل الحقير لنظرية جميلة بفعل وقائع ملعونة». ودعنا ها هنا نؤكد تأكيدا على خيال العلماء وعلى الخصوبة المنسابة في توليد الفروض حيث يتم تصويب كوثر من السهام صوب الواقع (*).

(*) هذا الذي أسرف المؤلف في أسلوبه الشاعري الجميل وهو بصوره، من دروس المحاولات الفاشلة، قد عالجه كارل بوبر بإسهاب منهجي وصاغه بتقنين منطقي مفصل وهو يبين أن تكذيب نظرية علمية ليس ألبتة خُسرانا [المترجمان].



المنهج والعلوم الاجتماعية

ذهبت بنا الملحوظة السابقة إلى قلب مضمار العلوم الاجتماعية. وليس غرضنا أن ننهال بالنقد عليها، بل فقط أن نختبر منهجها. ثمة دراسات اجتماعية عديدة، بل وعلوم بأسرها من قبيل علم السكان وعلم الاقتصاد، تستخدم الرياضيات استخداما مكثفا، وخصوصا الطرق الإحصائية.

كثيرا ما يقال إن العلوم التي تلتجئ إلى مثل هذه الطرق أقرب إلى العلوم الفيزيائية من تلك التي لا تستخدمها. ومن المؤكد أن الإحصاء يزودنا بأدوات لتأسيس الارتباطات، أي الظهور المتصاحب لاثنتين أو أكثر من السمات. ولنستخدم مثالا مشهورا من علم الأوبئة، وهو الارتباط الذي لوحظ بين استعمال الأهالي لأنظمة غذائية غنية بالدهون وبين انتشار معدل الإصابة بالأزمات القلبية بينهم. غالبا ما يكون الارتباط علامة تشير إلى علاقة سببية، لكنه لا يفسر السبب ولا يفسر مفعوله، ولا حتى يقول ما إذا كان سببا بالفعل أم لا. وفي هذا المثال على وجه التحديد يعود الفضل إلى الدراسات الإكلينيكية، والفحص التفصيلي للوقائع، وإلى التقدم الذي أحرزه علم وظائف الأعضاء (الفيزيولوجيا) في ما يتعلق بأيض metabolism الدهون. وهكذا بمجرد وجود الارتباط أمكن أن نستبدل به معرفة بالآليات وهي تفعل فعلها، ولو بصفة جزئية على الأقل. هذه المعرفة، خلافا للارتباط الخام، يمكن أن تخضع للمنهج العلمي. أساسا. الطرق الإحصائية ذات قيمة عالية من حيث هي أداة لتعجيل اكتشاف القواعد الإمبيريقية، لكن من الخطأ الصراح افتراض أنها كافية لبلوغ الاتساق الذي يهبنا إياه المنهج العلمي في تمامه.

طويلا ما انهمك المتخصصون في العلوم الاجتماعية في بحث مسألة المنهج، وفي هذا السياق تحديدا وليس في سياق العلوم الفيزيائية تطور التحليل البوبري للمنهج [!!!!] (*)، وإني لأقترح سؤالا هينا يسيرا أتقدم به كإسهام متواضع عن طريق مناقشة منهج كلود ليفي شتراوس البنيوي في الأنثروبولوجيا، وهو منهج شديد التميز. فماذا إذا قارنا هذا المنهج بمنهج العلوم الفيزيائية، فتأدى بنا المطاف مجددا إلى الوقوف على ثغرة تعجيزية، كان ليفي شتراوس نفسه قد أدركها ووقف عليها.

(*) نعجب من هذا الحكم الخاطئ الذي أصدره المؤلف بلا مناسبة موجبة [المترجمان].



هاكم موجزا استقرابيا للمنهج البنيوي، وأرجو ألا أكون قد تماديت في إساءة عرضه: يدرس المرء طائفة معينة من الوقائع، من قبيل علاقات القرابة أو آداب المائدة. أولا، في المرحلة الابتدائية، كل الوقائع المعروفة في هذا الموضوع تُجمَّع في شكل ما يسمى هيكلا. وتلك مهمة أساسية تشابه المرحلة الإمبيريقية في المنهج رباعي المراحل. المرحلة الثانية، مرحلة التصور، ماثلة هي الأخرى، لأن العالم يتخيل مبدأ ينظم الوقائع وما يسمى بالبنية، أو يخترعه أو يتعرف عليه فقط (ولا توجد الكلمة المطابقة الوافية بالمعنى الدقيق). وحينئذ تتألف المرحلة الثالثة، مرحلة التطور، عن طريق الاستكشاف النظامي لمثول العلم بالبنية داخل الهيكل.

ولكن لسوء الحظ، نجد أن المرحلة الرابعة التي تتيح إمكان تفنيد النظرية مفقودة تماما. ولا بد أن السبب في غيابها واضح: إذا كان الهيكل مكتملا، فلا يمكن وضع تنبؤات تتعلق بملاحظة الوقائع في المستقبل، لأنه ليس هناك شيء خارج الهيكل. من الناحية الأخرى، من غير المعقول أن نتوقع من الباحث أن يتجاهل كلية جانبا ذا اعتبار من الهيكل يمكن أن يستخدم في النهاية من أجل التحقق. على أفضل الفروض، لن يستطيع الباحث إلا أن يأمل أن تكون الوقائع المكتشفة من جديد تأييدا لأي تنبؤات وُضعت فعلا. لكن تبقى صعوبة مشهورة جدا: في خاتمة المطاف تظل القوة التنبئية للعلوم الاجتماعية محدودة جدا.

هناك صعوبة أخرى أقل شهرة: إبداعية المؤلف قد تتوهج قبل الأوان وتثير الشكوك في شأن الوجود الحقيقي للبنيات التي يزعم أنه قد اكتشفها. وبالتأكيد ليس الأنثروبولوجيون أقل خيالا من الفيزيائيين، وهؤلاء الفيزيائيون قد تمكنوا في ستينيات القرن العشرين من اكتشاف بنيات عديدة في كتلة الوقائع المتعلقة بالجسيمات الأولية، لكن بعض هذه البنيات قد كشفت عن أنها محض أوهام. وعلاوة على هذا تستدعي البنيات، التي اقترحها الفيزيائيون، تحققات كمية تفوق كثيرا العلاقات الكيفية التي نجدها في البنيات الأنثروبولوجية، هذه الأخيرة تتيح مجالا أرحب للتأويل. والآن لا نعرف إلا أقل القليل في شأن حدود الذكاء وحدود الخيال. أليس من الممكن أن شخصا أوسع خيالا قد يستطيع أن يفترض

بنيات في أي هيكل معطى؟ وكيف لا نتشكك فيها مادمنا نعرف أن استخدام هذا المنهج في موضع آخر ذي ظروف أكثر حزما وتشددا قد أفضى إلى أوهام؟ قد يعطي المنهج البنيوي تبريرا لاقتناع مألوف، لكن لا يبدو أنه قد يأتينا بالبرهان غير القابل للتفنيد والذي لا يستطيع أن يهبنا إياه إلا التحقق.

الاتساق والجمال

قلنا في ما سبق إن كل تجربة صُممت من أجل اختبار علم من علوم الكون هي بمنزلة إلقاء للنرد. ولهذا يدخل العلم - تقريبا بصفة يومية - في مواجهات مع الواقع، وذلك في المختبرات العلمية التي تنتشر في أرجاء العالم. ومن أجل التقدير الحقيقي لهذه العلاقة بين الباحثين وبين الواقع، القائمة على مزيج من الإعجاب والاستثارة، من الضروري أن نعرف تلك النزعة الميكيافيللية الطروب التي يتمتع بها أولئك الذين ينفقون سنوات عديدة في إعداد تجربة فاصلة، مستعينة بكل الوسائل الفنية التي يستطيعون جمعها أو اختراعها. إنهم ينتمون إلى نادي «المليونيرات المفلسين» من أولئك المتخصصين الذين يقيسون الكميات الفيزيائية قياسات تخرج في ستة أرقام أو أكثر، ويصرحون برغبتهم في التحقق من محصلات مبدأ ما معروف، ربما بمزيد من الدقة، لكن أيضا - وربما أساسا - ثمة رغبة لا يصرحون بها تماما هي استكشاف فارق قد يحدونا إلى اكتشاف مبادئ جديدة. هكذا يُبنى العلم، أن نجعله مرمى للهدم والتقويض. بقاء العلم حيا نابضا هو البرهان على إلحاح الواقع ووجود قوانين للواقع، اليقين من تواتر هذا البرهان كل يوم كاليقين من شروق الشمس كل يوم.

أي شيء له كل هذا العمق وكل هذا الاتساق معا لا بد أن يستثير فينا الشعور بالجمال. يتكامل هذا الجانب من المشروع العلمي مع أثرى خصائص الإنسانية فينا: الخاصية الإستطيقية (*)، وليس هذا الاقتران عرضيا، لأننا بداية عمدنا إلى تطوير إحساسنا بتأمل الواقع، في المتعة المأخوذة من

(*) الإستطيقا أو علم الجمال أو الجمالية هي ذلك الفرع من فروع الفلسفة الذي يبحث في الجمال والظواهر الجمالية، كما تتجلى في الطبيعة وفي الفنون، ومن ثم فالخاصية الإستطيقية هي الخاصية الجمالية، خاصية إبداع الجمال وتذوقه والبحث عنه التي يتميز بها الإنسان [المترجمان].

الانسجام في منظر طبيعي أو في وجه بشري، وتتبدل عن طريق الناي مثلا لتأخذ شكل الجمال الموسيقي، الجمال الصوري والناعم معا. إن الجمال، كما يتجلى في التوازن التام والاقتصاد الفائق في الوسائل، حاضر وماثل في كل رجا من أرجاء لوحة العلم العظمى.

إن صورنة العلم لا تطيع أي قواعد، ومع هذا غالبا ما تكون بحثا عن الانسجام. وفي هذا تمادى ديراك حين قال إن المرء يستطيع أن يتعرف على النظرية الصحيحة أولا من خلال جمالها. وكان بالقطع يشير إلى شكل من أشكال الجمال يثمنه علماء الرياضيات، على وجه التحديد، إنه الشكل الذي يصعب التمييز بينه وبين الاتساق:«ها هنا كل شيء نظام وجمال...». هذا الاتساق المنطقي حين ينطبق على مجال فسيح ليتولد عنه العجب والإعجاب فينا، لماذا يخلق فينا المشاعر نفسها، نوعية البهجة نفسها اللتين يستثيرهما جمال الأشياء؟ لا ولن أعرف، ولابد أن ألزم الصمت إزاء هذا السر الملغز. ومع ذلك هو جانب مهم من جوانب العلم، وإذا حاولنا أن نتفهم الصلة بين الفلسفة والإستطيقا فيجب - على الأقل - أن نلقي عليها الضوء بواسطة مثال.

هذا المثال يتعلق بمبدأ ذكرناه بالفعل مرارا وتكرارا: إنه مبدأ القصور الذاتي inertia، ويا له من مبدأ جميل! يبدو في البادية وكأنه مبدأ متواضع يتعلق بالحركة الأفقية على الأرض. أصبح مبدأ عموميا بفضل يعود أولا إلى ديكارت، ولاحقا إلى نيوتن الذي ربطه بالزمان والمكان المطلقين. تحرر المبدأ من هذا الوطاء (*) ليعاود الظهور، بكرا مصونا، في النظرية النسبية. إن توقنا إلى الجمال يجد في تقييد هذا المبدأ ببعض الأنساق المرجعية المفضلة نقصانا لا يُطاق، فيتهندم المبدأ بأن يحوي في طياته ظواهر الجاذبية، وبهذا يغنم من جديد مغنما يتمثل في العمومية. ومثلما يذوب عرض الألعاب النارية في باقة العروض، أصبح المبدأ الآن محض قانون، محصلة ثانوية من محصلات المبادئ التي تحكم انحناء المتصل الزماني - المكاني: معادلات آينشتين للنظرية النسبية للجاذبية.

(*) الوطاء هو المهاد الوطيء وضعناه كمقابل لـ matrix أفضل من كلمتي «قاعدة» أو «قالب» اللتين تضفيان على المعنى تحديدا وتقييدا لم نستصوبه [المترجمان].



إن الأمر كما طرحه آرتور رمبو: «الآن اكتمل كل شيء وأستطيع أن أهتف للجمال». إنها كلمات شاعر، ولكنها أكثر تعبيرا عن مشاعر العالِم من أي شيء آخر.

مرونة المبادئ

النبذة الأخيرة التي أوردناها في شأن النظرية النسبية توعز بملحوظة أخرى تتعلق بالمبادئ. فقد ذكرنا أن النسبية الخاصة يمكن أن تصاغ في حدود متصل الزمان - المكان، وبالمثل تماما يمكن أن تصاغ بلغة تستبقي الزمان والمكان في إطارين مرجعيين منفصلين. التوصيف الأول توصيف هندسي، والثاني توصيف جبري، إنه التعبير في حدود المكان المتمدد والزمان المتقلص حين الانتقال من إطار مرجعي إلى آخر. وهذا يبين أن ترميز قوانين الطبيعة، بعناوينها المعينة وبنودها المحددة، ليس بصرامة ترميز القوانين التي يجري التصويت عليها في البرلمان. يمكن ترجمة قوانين الطبيعة إلى أشكال منطقية أخرى قد تبدو بعيدة بعضها عن بعض إلا أنها مع ذلك متكافئة تماما. وتعطينا ميكانيكا الكوانتم مثالا آخر لافتا، بالصياغات العديدة التي تتخذها والمتكافئة جميعها، من قبيل مصفوفات هيزنبرغ والدوال الموجية للويس دي بروي.

وهكذا يصعب أن تكون صورة النظرية، أو حتى مفاهيمها المركزية، فريدة متفردة، وأيضا لا يوجد سؤال واحد حصيف يقبع كأصل للنظرية. إن المبادئ والقوانين، التصورات الأساسية و التصورات المشتقة، قد تتبادل المواقع معا ولا يعنيها أن توزع الأدوار على الإلهة والأرباب. تظل النظرية في حد ذاتها فريدة، لأن الأشكال المختلفة لها جميعها متكافئة: كلها تؤدي إلى المحصلات نفسها وغالبا ما يمكن اشتقاق المحصلات من كل صورة أخرى.

وهكذا كأن صورة المبادئ لا تُفرض فرضا، الطريق الذي ينبغي أن تسلكه ليس مفروضا. ليس هناك درب واحد ووحيد هو الذي يؤدي إلى قمة الجبل. كل ذروة من ذرا المعرفة تبدو وكأنها «واقع داخل الواقع»، واقع في حد ذاته يوجد ويمكن الوصول إليه من خلال كل واجهة يكتشفها العلم.



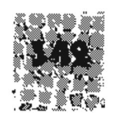
أكثر الأشياء توزعا بالتساوي في هذا العالم

سوف نؤكد ختاما على الصلة الوثيقة بين المنهج رباعي المراحل وبين كلٍ من تطور العلوم الصورية واللازمة الحديثة التي نجمت عن هذا، وهي تغير منزلة الحس المشترك.

من شأن المنهج العلمي المعاصر أن يثير دهشة أسلافنا وتعجبهم. لا شيء يماثله في خضم المناهج التي ناقشها بيكون. وبالنسبة إلى بيكون يحتل الاستقراء المرحلة المركزية، وبالتالي فإن الدراسة اليقظة للوقائع تفضي إلى القوانين التي تطيعها هذه الوقائع. مما يتيح لنا أن «نستقرئ» القوانين من الوقائع. البون شاسع بين هذا وبين الفكرة الحديثة، فكرة مرحلة التصور، أما التحليق المنطلق للخيال في هذه المرحلة التصورية فلا شيء سواه أبعد عن الحس المشترك الديكارتي.

لن نؤكد على العلاقة بين العلوم الصورية والحس المشترك، فقد ناقشناها مناقشة مستفيضة. ولنقتصر على ملاحظة مفادها أنه في أعقاب هيوم، سوف يتعرف علم النفس المعاصر، كما فعل جان بياجيه، على أصول المفاهيم وأصول الحس المشترك لدى الأطفال في ملاحظة العالم المحيط بنا (الإبستمولوجيا التكوينية عند بياجيه)، شريطة ألا نكون قد راقبنا في سنوات الطفولة الباكرة قطارا ينطلق بسرعة تقترب من سرعة الضوء، وألا يكون الطعام الذي نتناوله من أوان قريبة من الثقوب السوداء، حيث يمكن أن تشاهد العيون المجردة انحناءة المكان. إننا لم نر ألبتة حيود الإلكترونات، ولا رأينا، بالأحرى، تموج الضوء في شباك عنكبوتية. فلا عجب إذن من ظروف لا نستطيع أن نتخيلها أو أن «نرسم لها لوحة». تلك الصور مفتقدة تماما من ذخائرنا، ويعجز مخنا عن أن يخلقها.

كان يمكن أن يكون العالم بسيطا ومتماثلا في كل الأرجاء مع ما يتبدى للوهلة الأولى. هذا ما اعتقده الفلاسفة القدامى، وقاموا ببناء مبادئ كاسحة على أساس هذا المعتقد. وعلى هذا ظل العلم كلاسيكيا، علما معقولا، وكان للصورية أن تكون محض واجهة صُممت فقط لتجعله أكثر دقة. كان يمكن أن تكون الأشياء على هذه الشاكلة، لكنها ليست هكذا. هذه حقيقة، ومَنْ نكون نحن حتى نملي على العالم كيف ينبغي أن يكون؟



تحط الدهشة من كل صوب وحدب. والعلم قادر على هدم الجدران التي يبدو أنه يراد أن نظل حبيسيها إلى الأبد. كان هيوم مخطئا في اعتقاده أن العقل البشري غير قادر على الوصول إلى منابع نظام الأشياء، النظام الذي أتاح لنا أن نضع لها أسماء. وكان كانط هو الآخر مخطئا حين عمل على كبح رغبتنا في الفهم فوضع أفكارا أولية وقصر الفهم على ما يمكن أن يتمثله الخيال في صور وكلمات. لدينا منافذ بوسائل أخرى لكي نصل إلى ما لا تستطيع اللغة العادية أن تصل إليه أو تمثله، نصل إلى ما يقع خارج حدود المكان المنبسط إلى غير نهايات، بل ولدينا منافذ لنصل إلى الأشياء التي تشغل أكثر من مكان واحد. الدهشة ماثلة. وبالتالي، فإن السؤال الذي ينبغي أن يواجه الفلاسفة هو سؤال حول هذا الخلاص للعقل.

من الواضح أن الإجابة تكمن في المنهج العلمي الذي وصفناه الآن لتونا. أجل الصورة الكلاسيكية للعالم في حد ذاتها محدودة، لكن لا شيء يحدد التمثيل العلمي. خلال المرحلة التصورية، للمنهج كامل الحرية في أن يأخذ في اعتباره كل الفروض، حتى ولو كانت فروضا مجلوبة من أبعد زمان أو من أبعد مكان، وذلك لكي يحكي قصة الواقع. يمكن أن نجرب كل شيء، إنه تجريد مقدام لشيء ما أحرز نجاحا في مكان آخر، استكشاف معارف باللغة الشعوب لكن موثوق بمصدرها، قفزة في الخلاء. قمة الجبل تقبع في عليائها والخبرة هي فقط المرسوم الذي تصدره مثلما يكون الاتساق هو كل الأخلاقيات التي تتحلى بها. لا تمتثل الحقبة التصورية لأي شروط قبلية: مرة أخرى، كيف لنا أن نتوقع من العالم أن يتبع القواعد الخاصة بنا؟ نستطيع فقط أن نشرع في البحث عن قواعد، إنها لقواعد جديرة بالإعجاب. أما الحقيقة القائلة أننا نستطيع أن نصل إلى تلك القوانين بواسطة الرياضيات فإنها يجب تأويلها من حيث هي وحي فلسفي جليل.

على هذا النحو يوجد المنهج، بغير حدود، والأسس القصيّة له هي حرية العقل.





16

منظورات تتلاشى

بالنظر إلى ما قد عرفناه في ما سبق، يمكن إجمال العناصر الجديدة في الوضع الراهن للتساؤل المطروح في نقاط ثلاث: المنطق يتوغل في العالم ويسير قدما إلى مستوى المادة، وليس إلى مستوى وعينا؛ فمعرفتنا بقوانين الواقع الآن ليست ناضجة إلى الدرجة التي تشبع هذا الوعي، بتمثيله المبدئي والمرئي، وما يضمره في طياته من حس مشترك يبدو بما يشبه اليقين وكأنه محصلة لمبادئ أكثر عمومية؛ وأخيرا، نحن على استعداد لتعليق أمر البيان المكتمل، وتقبل وجود فصل غير قابل للاختزال، صدع بين النظرية والواقع.

وذلكم هو الحد الأدنى المطلوب لفلسفة جديدة للمعرفة ينبغي أن نأخذها في الاعتبار، بمعية أي شيء آخر يمكن أن يهبنا العلم إياه. وأحسب أن الكل على استعداد لأن يبدأ تشييد مثل هذه الفلسفة: إن لبنات البناء ومعداته ماثلة، والخطط آخذة في التشكل. لا نستطيع أن نفتح الباب لإفساد مشروع سوف يتطلب بلا شك

«سطوع الشمس يعمي عيون طيور الليل، وبالمثل تماما عيون عقلنا يعميها التحديق في الحقائق الأشد سطوعا»

أرسطو



الوقت والتدبر من قبل الكثيرين. ولهذا لن نستطيع الآن سوى طرح بضعة فروض، ونأمل أن تتبعها سريعا فروض أخرى، وسوف يتأتى التقدم من خلال تحدي تلك الفروض وتحليلها وتنقيحها. وسوف أكون حرا في اقتراح بعض التوجهات المبدئية، وأعترف عن طيب خاطر بأنها ذات طبيعة تأملية.

نظرية المعرفة

من الملائم أن نبدأ بنظرية المعرفة. فنحن قد رأينا بالفعل التخطيط العام لها، ونحتاج فقط إلى إضافات قليلة. و«نظرية المعرفة» كما أفهمها هي مخطط يهدف إلى أن يفسر لنا كيف يمكن للوعي البشري أن يعرف العالم، العالم الذي يطيع القوانين الخاصة به. وعلى هذا فالأمر مباراة بين العالم والوعي. وبدقة أكثر، نقول إن النظرية المقترحة ها هنا تأخذ في اعتبارها أن أصل الوعي، والروابط التي تقيمها مع العالم، كلها تقبع في القوانين التي يخضع لها هذا العالم. أما بالنسبة إلى فلسفة المعرفة فإنها تقع في ما وراء ذلك؛ إنها تقلب النظر في العالم ووعينا به، مفترضة أنه مفهوم بالفعل، وذلك لكي تقتحم طبيعة ذلك العالم. بل إنها تستطيع في خاتمة المطاف أن تتجاهل وجود البشر، الذين يبدون كمجرد حاملين أو حاوين للوعي، يقدحون زناد الكون الذي يتأمل ذاته، بشكل دقيق لكنه مؤقت وعرضي.

إننا سائرون صوب نظرية للمعرفة واضحة تقريبا. ولا نملك إلا أن نتخذ وجهة نظر هيوم والعلم المعرفي المعاصر، فنسلم بأن العلم بالعالم الكائن حولنا إنما ينشأ في مخنا، في ذهننا، فهو تمثيل مألوف لنا بما يكفي لكي تنقله اللغة، ومنظم بما يكفي لأن يوجد الحس المشترك. تلك هي الثمار التي نجنيها من التمرين والتعليم الذي يمارسه كل فرد فينا (وأيضا يمارسه الجنس البشري ككل)، بل وبرؤية تستبق كل هذا نجدها ثمارا يانعة لسلسلة تطور الأنواع الحية الأخرى في تكيفها مع العالم.

ليس العالم الذي نأخذه في الحسبان هو عالم الذرة الأكثر أساسية منه، وأشياؤه أكبر من أشياء عالم الذرة بما لا يقارن. ومن هذا النطاق الأكبر تتوارث تلك الأشياء ملامحها الخاصة التي نجد منبعها في القوانين العمومية التي تصدق على كل نطاق - على الرغم من أن هذه القوانين تكتسب سمات أخرى على المستوى الذري. على هذا نجد أن العالم الكائن

في متناولنا يكشف عن نفسه في أشياء يمكن إدراكها بالبصر، وباللمس، وبالسمع. وقد عرفنا الآن أن هذا العالم «السافر البادي للعيان» ليس إلا التبيان البارع لقوانين الكوانتم، إنه انسلاخها وتجليها على النطاق الأكبر. ولعله من الظريف حقا ملاحظة كيف أنه من بين حواسنا نجد الشم، وبدرجة أقل الذوق، هما الآخران كاشفين عن عمل الجزيئات في نطاق وسيط (يصدق هذا أيضا على البصر الذي يمكنه أن يستبين عددا صغيرا جدا من الفوتونات، لكن في ظروف استثنائية للغاية، ولدرجة لا تجعلها ملائمة). ولئن كان عالمنا يمكن أن يكون هكذا، فإنه يمكن أيضا أن يعرض بعض الملامح الباقية: يمكن أن تترك الأحداث آثارا تدوم طويلا. وهذا من المنظور الفيزيائي شكل من أشكال الحتمية، على أنه قبل كل شيء هو الذي جعل من الممكن أن توجد الذاكرة، ذلك أن الذاكرة من حيث هي آثار من الماضي باقية في دخائلنا، هي إدراك لذلك الماضي، وهي استشراف للمستقبل بفضل يعود مجددا إلى الحتمية. أجل، كثيرا ما يصدر عن عالمنا سلوك غير قابل للتنبؤ، طريقة تتكرر حيث لا تؤدي قوانين الفيزياء دورا أكبر من دور الاطرادات المنتظمة في عالم الحياة التي تصوغها رمزيات القواعد الوراثية العامة. بفضل هذه الرتابة ميمونة الطالع. وهذا النظام النافذ. نستطيع أن نكوّن «صورا ذهنية» جوانية عن هذا العالم. ونستطيع أن نصفه باستخدام اللغة.

وعلى هذا فإن كل ملامح هذا العالم التي يسجلها فينا فيسجل وجوده، يمكن استخلاصها من المبادئ الأساسية التي تحكم ماهية الواقع. وذلكم هو إطار لنظرية معرفة ذات حدود متينة، حيث تتأتى في البداية تلك المبادئ، ثم تأتي بعد ذلك الأشكال المختلفة للوعي. والآن أصبح هذا الاستنباط مكتملا بشكل جوهري، ونظرية المعرفة التي نتوصل إليها على هذا النحو ذات أساس سليم وقويم بما يكفي لأن ينطلق البناء والتشييد في طريق مأمون وآمن.

إذن نستطيع أن نعرف كيف تعاود بعض «المبادئ الفلسفية» العتيقة الظهور، على أن نضع في أذهاننا أنها تنطبق فقط على مستوى النطاق الأكبر. بهذه الطريقة تصبح المعقولية والتموضع والقابلية للإدراك خصائص صحيحة في ذلك المستوى. أما عن العلية فهي وثيقة الاتصال بالحتمية الماثلة في خبرتنا اليومية ذات الحدود المعروفة تماما.

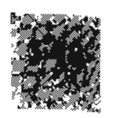


وهكذا، فإن «المشكلات الفلسفية» التي يبدو أن قوانين الكوانتم تثيرها تختفي من تلقاء ذاتها. إن مجال التطبيق الفعلي لـ «المبادئ» المقبولة والمعمول بها مجال محدود تماما. وبالنسبة إلى مبدأ ما معطى فإن الإقرار بأنه نافذ المفعول في حالة مثال معين لا بد أن يكون إقرارا مصحوبا بتحديد نسبة احتمال الخطأ، وفي الظروف العادية تكون هذه النسبة ضئيلة، حتى أن تحديدها يعد دربا من السخافة (الظروف العادية هي السبب الذي جعل المفكرين في الماضي يعتقدون أنهم استطاعوا صياغة تلك «المبادئ»). وإذ يحاول المرء أن يمد نطاق هذه المبادئ إلى أشياء أضأل وأضأل بصورة متزايدة، فإن تلك الاحتمالية للخطأ تتزايد وتتزايد. وحين الوصول إلى المستوى الذري فإن احتمالية الخطأ تعلو وتعلو، لدرجة تجعل مبادئ أرسطو ومبادئ كانط تنهار تحت وطأة أثقال الخطأ التي لم يعد من الممكن تحملها.

وقبل أن ننهي هذا الموضوع، دعنا نؤكد أن نظرية المعرفة التي عرضناها ها هنا أبعد ما تكون عن الاكتمال. وعلى أوسع الفروض لم نفعل أكثر من إرساء أسس العمل. لقد اقتصرت مناقشاتنا على علوم المادة ولم نتطرق إلى علوم الحياة، وتحدثنا عن قوانين الجسيمات دون أن نتوسع في حديثنا ليصل إلى التعقيد الثري الذي ينشأ عنها على مستوى أكبر، وهذا مؤشر كافٍ على أن مهمة العلوم المعرفية تبدأ الآن لتوها.

اللوغوس

الآن فقط، قرب خواتيم الكتاب، نتجه فعلا صوب فلسفة المعرفة. لا نستطيع أن نسمح بمعالجة عجلى للموضوع ستكون بالضرورة طريقة غير موائمة، والأحرى أن نقتصر على رسم خطوط عريضة. لابد أن تبدأ هذه الغزوة لمعاقل الفلسفة بالعود إلى سؤال لم نطرح إجابة مكتملة عنه: السؤال حول طبيعة الرياضيات. إنه موضوع لا يمكن تفاديه، حيث إن النزعة الصورية ضاربة بجذورها أكثر مما كانت في أي وقت آخر، ويجب أن يظل الشعار «لا يدخل علينا من لم يلم بعلم الهندسة» منقوشا على واجهة معقلنا.



ليس من الضروري أن نكرر الحجج المؤيدة لـ «الواقعية الرياضية»، والتي طرحها مناصرون للوغوس يوجد في حد ذاته، وتختلف طبيعته عن طبيعة الواقع. ورأينا أيضا النزعة الاسمية ومتغيراتها، مدعومة بديالكتيك، أوهي بلا شك ذات مبررات محدودة، شريطة ألا تفترض قبلا وجود واقع آخر.

ولن أزيد على هذا إلا مثالا واحدا من تاريخ العلم المعاصر يبدو كاشفا مضيئا؛ فمنذ ما يقرب من عشرين عاما، أحرزت فيزياء الجسيمات الأولية تقدما بالغا في اتجاه التوحيد، أولا عن طريق النجاح في توليف التأثرات الكهرومغناطيسية والضعيفة (المسؤولة عن نشاط إشعاع بيتا الصادر عن النويات، وربما عن الحرارة داخل البراكين، وعن المرحلة الأولى للتفاعل النووي في الشمس، وآليات الانفجار فوق المتوسط) وتلا هذا توحيد صور شتى من التأثرات القوية (المسؤولة عن القوى داخل نواة الذرة)، مما دفع الفيزيائيين إلى التسليم بأن جسيمات عديدة (مثل البروتون والنيوترون) تتألف من مكونات أولية أكثر، وهي المعروفة باسم الكواركات. من المؤكد أن المعطيات التجريبية أدت دورا أساسيا في إحراز هذه الخطى التقدمية. وليس معروفا على نطاق واسع أن الجهود النظرية التي بذلت تكاد تكون بأسرها جهودا رياضية، تدمج اعتبارات التماثل (أو نظرية المجموعات) مع اعتبارات أخرى تنشأ عن هندسة الأمكنة المجردة. هكذا أثبتت الرياضيات، وكما لم يحدث في أي موضع آخر، أنها تقتحم قلب الواقع كقوة عجيبة مذهلة، ولا شيء سوى الرياضيات يمكنه أن يتوغل في دخائل الواقع بكل هذا العمق وبكل ذلك النفاذ.

ولعل طبيعة القوانين تجعلنا أكثر حيرة. إن القوانين بارعة بصورة فذة، ومع هذا تنطبق على أشياء يمكن القول عنها، إذا جاز التعبير، إنها بلا بنية: الإلكترونات أو الفوتونات أو الكواركات. ولنأخذ، على سبيل المثال، إلكترونا وفوتونا في حيز من الفضاء ليس إلا خلاء. هل يمكن أن نتخيل شيئا ما غيرٍ ذي دلالة أكثر من هذا؟ إنهما مجرد جسيمين، لا شيء تقريبا، هوْلة من البساطة تضاهي حبة رمل. كيف أمكن لكل منهما أن يحمل ما هو أكثر من رمز أولي. 1 أو 0، كعلامة على الحضور أو الغياب عند تلك النقطة، كيف أمكن أن يخفيا أي شيء



آخر في طياتهما؟ إنهما مع كل هذا يسلكان تبعا لقوانين لا يمكن الحصول على تنبؤاتها إلا من خلال حسابات مطولة على كمبيوتر متقدم مكين – وبالجسيمين يكون التحقق من نتائج تلك الحسابات بدقة تبلغ عشرة من واحد على مليون. من أرشد هاتين الكرتين العمياوين البكماوين (وهما ليستا كرتين فعلا: هما نقطتان من دون موضع محدد تماما). كيف تمارس القوانين فعلها؟ ما الذي تستحوذ عليه وتُسيّر أموره؟ لا نعلم شيئا على الإطلاق. كل شيء يبدو وكأنه يشير إلى أن القوانين لا تفعل فعلها. بتعبير أرسطو، ذلك ينتمي إلى مجال القوة وليس إلى مجال الفعل.

وحالما نتنبه إلى هذه الحقيقة، بمعية الصدع الذي ذكرناه في ما سبق وحجج علماء الرياضيات المتعلقة بالاتساق المطلق، وقدرة علمهم المعجزة على الإنتاج وإعادة الإنتاج («إنه بالغ الجمال، إنه بالغ الجمال. لكنه ضروري») فليس أمامنا إلا استنتاج مفاده أن وجود اللوغوس فرض مستصوب كلية.

وعلى هذا، فإنه بالنسبة إلى السؤال المتعلق بطبيعة الرياضيات – هل هي جزء من الواقع؟ هل توجد من خلال الواقع أم أن لها وجودا مستقلا؟ سوف نجيب: هل الرياضيات جزء من الواقع؟ كلا، بسبب الصدع، تلك الفجوة غير القابلة للاختزال التي تفصل إهاب الواقع عن أرديته: هل توجد الرياضيات من خلال الواقع؟ كلا، لأن الجسيمات إذا ارتدت إلى ذاتها [وليس إلى مكون آخر أكثر أولية]، أصبح ذلك إجدابا عقيما يعجز عن تدعيم أي رموز يمكن أن تكون سترا وستارا لقوانين. وبالتالي توجد الرياضيات في حد ذاتها، وبحد ذاتها، مثلما يوجد الاتساق وخصوبة الشظايا اللذين كُشف عنهما بفضل ما أوعز به العقل البشري.

الإحياء

إن الثنائية العميقة التي واجهتنا ها هنا، حيث اللوغوس والواقع، وبالمثل صميم وجود اللوغوس، هي أشكال من الهروب الميتافيزيقي، يهبنا العلم إياها. وليس من السهل تقدير عواقب ومحصلات العلم، وإنها لبالغة الأهمية بالنسبة إلينا فلا يصح أن نشرع في استجلائها بامتطاء صهوة تأملات



مندفعة. ولا نستطيع إلا إثارة واحد أو اثنين من الأسئلة السطحية، ولو فقط لكي نعطي فكرة عن ضخامة المهمة التي تنتظرنا، والصعوبات المحيقة بنا، ولكن أيضا عما تعدنا به.

ولنبدأ بملاحظة ضعف في هذا البرنامج، وهو ضعف يجعل صميم العلم الذي يوعز بهذا المشروع موضوعا للبحث والتساؤل. فبينما نجد وجود الواقع واضحا جليا، فإن هذا البرنامج يستغرق مرحلتين على الأقل لكي ينتقل من يقين وجود الواقع إلى وجود اللوغوس الأقل يقينا. المرحلة الأولى، التي يبدو أنها تفرض ذاتها، هي الوجود النافذ للقوانين التي تتخلل الكون. أما بالنسبة إلى المرحلة الثانية، التي أسميناها الصدع، فهي عدم قابلية الواقع لأن يرد نهائيا إلى النزعة الصورية، وهذه المرحلة أكثر تعرضا لسهام النقد، وتنفتح أمام ارتقاء محتمل في المعرفة. وحتى لو كان بعض الفلاسفة يستريحون لهذا الوضع، فإن حججهم تستند إلى مبادئ جميعها بالغة الهشاشة. ويمكن القول إن نظرية الكوانتم هي النظرية الوحيدة التي تتيح لنا أن نقابل بين الواقع واللوغوس بشكل خالص؛ النصال على النصال، والماهية في مواجهة الماهية. هذه المواجهة الصريحة هي مفتاح وجودهما المزدوج والعنيد. إن تفنيد هذه الحجة، أي فقدان تجليها وقوتها كليهما، من شأنه أن يطيح بيقيننا. وحينئذٍ قد يكفي أن تقدما ما جليل الشأن في الفيزياء ينبغي أن يحمل في طياته اختفاء ذلك الصدع، ليعود بنا مجددا إلى المربع رقم واحد.

وحتى لو نبذنا هذا الاحتمال، فقد تنشأ صعوبات أخرى. الصعوبة الأولى تتعلق بالسؤال عن المنهج: قبل أن يستطيع العلم الوصول إلى أعتاب اللوغوس، يجب أن يجتاز حمية من الزهد المتقشف. وأيضا يجب عليه أن يهجر الحس المشترك جزئيا، ليكتشف إلى أي حد كانت مبادئ الفلاسفة في الماضي خؤونا لا يوثق بها. والآن، تلك على وجه الدقة هي المبادئ التي لا يزال يستخدمها إلى يوم الناس هذا أولئك الذين يستكشفون اللوغوس. وقد تتساءل: أي مستكشفين؟ أفلاطون، طبعا ، لكن أفلوطين على وجه الخصوص هو أكثر الجميع صرامة، في مضمارٍ ليس من السهل ممارسة الصرامة فيه. ولست أتردد في إضافة سبينوزا، ويبدو لي أن وضعه أقرب إلى الوضع الذي يتشكل حاليا. وأكثر مما قد يتبدى للوهلة الأولى. نحن ثنائيون، بينما يقال إن سبينوزا «واحدي»، ولكن هل هو



واحدي؟ ألم يقل في القضية الأولى من كتابه «الأخلاق»، «أنا أفهم الجوهر بوصفه ما يوجد في ذاته، ويدرك من خلال ذاته»، وفي هذه العبارة لن يصعب على المنطقي أن يلاحظ دور الداغصة (*) الذي يقوم به حرف العطف «و»؟ إننا نجد فيها ما يكون، إنه الواقع، وما يدرك والمدرك ذاته، إنه اللوغوس، تماما كما نجد هذا التشعب الثنائي نفسه في الطبيعة، التي تتخذ شكلي الطبيعة المطبوعة natura naturata والطبيعة الطابعة natura naturans (**) (المدرك واتخاذ الشكل). من الواضح أن ثمة الكثير بالقطع يمكن أن نتعلمه من سبينوزا، وبالمثل من ليبنتز، وبالنسبة إلى العصور الأحدث يمكن أن نتعلم الكثير من هيدغر. كل هؤلاء قد بينوا توجهات يمكن أن نتبعها، ولكن لا واحد منهم تقدم بمنهج موثوق به يمكن أن يتعهد بأمر اللوغوس.

وثمة صعوبة أخرى، هي مصدر نهائي لمتاهة محيرة فعلا، إنها متعلقة بصميم فكرة الوجود، وكيف يمكن أن يحيط به العقل. ثمة مشكلة حين نعزو الوجود إلى اللوغوس، ولكن ما هي المشكلة على وجه التحديد؟ فكرة الوجود الآن حين تنطبق على الواقع تكتسب خاصية الزوال والتلاشي، فالمكونات المختلفة للواقع توجد خلال فترات زمنية أطول أو أقصر: الأشياء التي وجدت بالفعل والأشياء التي سوف توجد، هل توجد؟ ثمة الأشياء الموجودة، الإنية Dasein (***) باستخدام مصطلحات هيدغر، وثمة الكينونة Being وهي شيء ما تتصوره الفلسفة الألمانية بوصفه - إن لم أكن مخطئا - كيانا يجمع الواقع واللوغوس. لعل الأمر على هذا النحو، أن يكون، أن يوجد، اللوغوس والزمان، الكينونة والزمان Sein und Zeit، إنها رقصة باليه مقدسة نشاهدها نحن البشر من دون أن نكون قادرين على النفاذ إلى سرها الدفين.

(*) الداغصة أو الرضفة kneecap هي عظمة متحركة في رأس الركبة. والمؤلف يقصد من هذا التعبير دور المفصل المحوري [المترجم].

(**) فلسفة سبينوزا شديدة التعقيد... شديدة العمق. تُظهر غير ما تبطن، وعرضة لتأويلات متضاربة. يمكن أن يكون المقصود بالطبيعة الطابعة الله أو العقل أو الفكر، المعقولية والنظام والقوانين الحتمية... أو بمصطلحات المؤلف: اللوغوس. أما الطبيعة المطبوعة فهي المادة أو الكون أو العالم... بمصطلحات المؤلف: الواقع. وهما وجهان لعملة واحدة على أساس أن فلسفة سبينوزا، كما هو مذكور، واحدية. ترد الكون إلى مبدأ واحد في مقابل الثنائية الديكارتية الشهيرة التي ترد الكون إلى مبدأي العقل والمادة [المترجم].

(***) الإنية مصطلح اقترحه مترجمون كمقابل للمصطلح الألماني Dasein، الذي يضطلع بدور كبير في فلسفة الوجود عند هيدغر، ويصعب وضع مقابل دقيق له باللغة العربية، فهو يعني على وجه الدقة: الموجود هنالك الملقي به ثمة [المترجم].

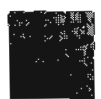


وثمة صعوبة أخيرة شائقة أكثر من سواها، إنها صعوبة تحديد حدود اللوغوس وتصور مداه. المقاربة العلمية حذرة، ترقب كل خطوة من خطاه، فتؤدي إلى إعادة اكتشاف المدى الميتافيزيقي لما كان منذ البداية أساسا مألوفا، مع أنها لا تكاد تريد هذا. ولكن هل نقصر حدودنا منذ المستهل على ما يمكن أن يبلغه العلم، على الأشياء القابلة للتحقق والقابلة للتكميم؟ ألسنا بهذا نقصر أنفسنا أيضا على معرفة الأكثر قحطا وإجدابا؟ وإني لأستدعي مقطعا من الماهاباراتا (*)، حيث نجد البطل أرجونا يقابل شيفا في الغابة. في البداية كان كل ما يراه أرجونا أمامه زاهدا متقشفا عاريا ومنفرا؛ وفقط بعد أن خبر المحن والضراء كشف سيد العالمين عن نفسه شابا فتيا. وبالمثل يقدم اللوغوس نفسه في البداية في الصورة المتقشفة العارية، صورة المنطق والرياضيات، التي تبدو أمام الكثيرين كئيبة جوفاء وليست أهلا للترحاب. وهو على الرغم من كل هذا الاسم نفسه الذي استعمله أفلوطين وهو يتحدث عن نفس العالم نفسه، موضوع فكره المغتبط. هل يمكن أن يكون الاسم مُضللا؟ يُستخدم بلا مبالاة حاملا معاني مختلفة، وهل أفلاطون هو فقط المصدر المشترك لهذا؟ أم أن ثمة بالأحرى دليلا هاديا وفاتحة طريق مبين؟ إلى أي قدر يمكن أن يمتد اللوغوس إذن؟ ما مداه؟

كما قلنا الآن، كل ما نفعله لا يعدو أن يكون شق طرقات لنعمل على استجلائها. ها هو الكتاب يبلغ خواتيمه، وخلفنا وراءنا أي أراض صلبة كنا قد مهدناها. لم يعد الحذر مطلوبا. ولنتحلَّ بالجرأة والإقدام، مادمنا نتقدم بخطى أقرب إلى خبط العشواء.

يجب علينا أولا أن نتناول سؤال المنهج، فلا يمكن أن نفعل أي شيء من دونه. واللوغوس، بخلاف الواقع، لا يمكن أن يهب ذاته أبدا في شكل عيني ملموس، حتى لو كان حاضرا وماثلا في كل رجا من أرجاء الواقع يمكننا أن نصل إليه. ربما كان ثمة بداية للإجابة، إن جاز التعبير مقبض ما، كل من يحاول عليه أن يتوقف إزاءه هنيهة. ربما لا نعرف الكثير عن اللوغوس، لكننا نمتلك نوعا ما من المرآة الحية له: المخ الذي ينشأ وينمو لكي يتهيأ للوغوس،

(*) الماهاباراتا Mahabharata ملحمة سنسكريتية كبرى تعود إلى القرنين الخامس والرابع قبل الميلاد، من أطول الملاحم الشعرية في العالم، تحوي أكثر من ٧٤٠٠٠ بيت شعر ومقاطع نثرية طويلة. تعد من معالم الثقافة الهندية ومن أهم النصوص الهندوسية، تناقش أهداف البشر وعلاقة الإنسان بالكون...إلخ [المترجمان].



يستخدمه ويتعارف عليه. يحمل المخ علائم أرومته التي نشأ عنها، كما يحمل الشهاب علائم كوكب لا نستطيع الوصول إليه. إن الفكرة بسيطة تماما: كل شيء يترجمه مخنا إلى شكل ما من أشكال نظام ربما يكون انعكاسا للّوغوس. من الواضح أن هذا فرض استقرابي، ويدفعنا دفعا أهوج نحو كل شيء حاولنا حتى الآن أن نتجنبه: الغيامة والعشوائية والمبادئ التي صيغت بعجلة ورعونة. ينبغي أن يتبع هذا نقد قاس - وأعترف بأنني لا أعرف حتى من أين يجب أن أبدأ - لكن لنستخدم هذه الفكرة كمرشد، ليس إلى غرض أخرق بأن نحدد مجال اللوغوس ونعينه، بل ربما لنتخيل فقط امتداد ذلك المجال. هذا القيد، أي كلمة «ربما»، ذو أهمية، لأنه يفتح آفاق احتمالات من دون أن يضمنها.

لقد لاحظنا أكثر من مرة وجود نوع ما من الجمال، البارد والخالص، في الرياضيات. فدعنا نقلب النظر في هذه الفكرة. يبدو مخنا قادرا على الربط بين النظام والانسجام اللذين يكتشفهما في تلك العلوم وبين ما يدركه بشكل أعم بوصفه الجميل. سوف يقول البعض إن هذا مجرد خلط بين آليات سيكولوجية غير ذات دلالة حقيقية، وثمة أسباب عديدة محتملة لها، بضع جزيئات من ليلبرين liluberin تدغدغ الوطاء أسفل المهاد البصري hypothalamus أو أي مؤثر هرموني آخر من أصل غير محدد. ولكن لنتذكر شيئا ما قاله أفلوطين بشأن الجمال. إن الجمال بالنسبة إلى أفلوطين في منزلة الألوهية، ولا يكمن فقط في رخام بهي الطلعة، بل أيضا في طبيعة إلهية أبدع الفنان وتدبر لكي يمسك بها وقدم عمله كانعكاس لها - تجلى، في شيء عيني وواقعي، في شكل ما، اللوغوس هو موطنه الطبيعي. وإذ نعيد استعمال كلمات استخدمناهاً الآن، فإننا قد نستطيع إجمال نظرية الجمال هذه بأنها تمثيل جزئي للوغوس في الواقع.

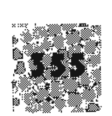
وإنني لأغامر بغزو مجال يبعد كثيرا من ميدان خبرتي، ولا يستطيع أن يخوض فيه إلا أقطاب علم الجمال، فيبدو لي أن رهطا منهم لم يتنكر ألبتة لرؤية أفلوطين للجمال، حتى وإن كانوا قد عملوا على تعديلها وتكييفها. أما إذا اقتصرنا - تلمسا للحيطة والحذر - على جوانب الرياضيات التي تداني الجماليات، أهمية التماثلات في الشكل، دقة التناسب فيه التي هي شكل آخر للتماثل على مستوى أكثر تجريدا، وتجلٍّ آخر لما هو معروف بوصفه المجموعات، فإن كل هذا معروف جيدا. ومن



المعروف أيضا أن انفصالا وحيدا عن التماثل المفرط قد يقوض ذلك البرود ويقدم شكلا من أشكال حضور الكون المحيط بنا، تجلٍّ من تجليات الحياة. ألم نكتشف أخيرا، ونحن مشدوهون حقا، أن شكل الموجات التي تتكسر على الشاطئ، أو السحب التي تتلاقى في السماء، أو المنظر الطبيعي للجبال، يمكن أن تكون محاكاة أمينة لأشكال ناتجة عن حسابات تتمثل الفركتال - أي عن أشياء رياضية تمتلك تماثلا بارعا يجعلها مشابهة لنفسها في أي مجال يمكن أن تُلاحظ فيه؟ وفي هذه الحالة لاحظنا أيضا نقصا معينا في التماثل ينال قليلا من الكمال الرياضي ليعطينا انطباعا أقرب إلى الواقع، من دون أن يدمر التأثير الجمالي.

هل ينتمي الجمال بمعنى ما إلى اللوغوس؟ الكثيرون آمنوا بهذا، بدءا من أفلاطون فصاعدا. وكانت مناقشاتنا السابقة للفركتال كرسالة تُظهر غير ما تبطن، يبعث بها علماء الرياضيات المحدثون إلى علماء الجماليات، وإنها لتجعل هذه الفكرة مطابقة لمقتضى الحال وملحة أكثر مما كانت في أي وقت مضى. ودعنا نحاول أن نبقى علميين صارمين. لا بد أن يكون الجمال إحساسا، إنه شيء ما يكشف عن ذاته في مخنا. وإذا نجحنا في تتبع أصوله في اللوغوس، فإننا نستطيع أيضا أن نتصور بأذهاننا كيف أن الفسيولوجيا قد تكون دائرة قصيرة (*) داخل المضمار، أي يمكن أن نتجنبها «نتجنب ذلك المخ، تلك الكتلة الشحمية الضاربة إلى اللون الرمادي»، ونتخذ الطريق القويم صوب الذكاء الاصطناعي (وهذا تعبير سيئ الطالع إذ يتضمن من حيث المبدأ البنيات المجردة للتفكير) فنتخيل العلوم المعرفية ومجالها يمتد صوب الجماليات، وبالتوازي نظريا مع هذا نتخيل استجلاء لمجال الجماليات في اللوغوس. وفورا أن نفتح الباب مواربا، وبشيء من التهيب أمام هذا التوجه، سوف يتبدى لنا كم هو توجه مهيب ومهاب. ولنستعر كلمات بيكون في كتابه «الإحياء العظيم»، لا يستطيع أحد أن ينتظر إنجاز هذه المهمة من جيل واحد فقط.

(*) الدائرة القصيرة short circuit في الدوائر الكهربية هي التي يحدث فيها بين نقطتين، أو بين طرفي البطارية اتصال مباشر ينتج عنه مرور تيار في موضع الاتصال يسبب عطل الدائرة [المترجمان].



وثمة إرهاص آخر باتجاه مماثل تقدم به هيدغر في أعماله المتأخرة، حيث يوعز بأننا نجد في روائع الشعر أفضل السبل المفضية إلى المعرفة بالكينونة Being، أو، إلى اللوغوس، من وجهة نظرنا على الأقل. وحين نتبع المقاربة عينها المطروحة عاليه، سوف يتأدى بنا الأمر إلى أن نلاقي استشرافات قد ترعبنا بجرأتها وإقدامها، وهي ليست بالضرورة خلفا محالا absurd: لا بد أن نستكشف البنيات الشعرية مستخدمين العلوم المعرفية والذكاء الاصطناعي على سبيل الاسترشاد، ولذلك لكي تحيط عقولنا بالأشكال السيمانطيقية، والتماثلات والكسور. ماذا عن الموسيقى وما وراءها؟

وهكذا، على قدر ما يمتد مجال اللوغوس، قد تتفتح مجالات جديدة للمعرفة تتدافع سراعا فلا يبدو لها حدود. على أي حال سوف يكون من الخطأ أن يرى أهل العلم المتزمتون في فرصة اقتحام المجال الذي اخترناه، أي مجال الفن، مجرد نوع من الخطيئة العمياء وانتهاك الحرمات؛ بل على العكس من هذا ينبغي أن يرى المرء فيه شكلا وطيدا جليلا من أشكال الفكر يمثل تعزيزا وتعضيدا لأجمل رؤانا وأكثر تأملات الماضي نورانية وإشراقا. ولكن كم تبدو هذه المهمة عسيرة وكأنها تشييد لبناء ضخم مهيب بجماع هائل من حجارة ضخمة متفاوتة الحجوم والأشكال، ومن دون ملاط!

تأسيس علم

إنني لأريد الاختتام بسؤال قد يبدو بسيطا للغاية: كيف يمكن أن يوجد علم؟ أو: كيف يكون العلم ممكنا؟ وضوح هذا السؤال والصمت الرهيب المحيق به بمنزلة رجع الصدى لكلمات أرسطو البديعة: «سطوع الشمس يعمي عيون طيور الليل، وبالمثل تماما عيون عقلنا يعميها التحديق في الحقائق الأشد سطوعا». لماذا لم يُطرح هذا السؤال الواضح الجلي إلا لماما؟ هل العلماء هكذا غير مبالين بالاستعراض المهيب الذي يتخلق أمام عيونهم، فلا يرون إلا مشهدا سطحيا عاديا؟ ألا يشغلهم قبلا إلا الاكتشاف التالي، أم أنهم لا يعنيهم إلا ترك الرَّوْشم في نفوس أترابهم؟ أم لعله ديدنهم في رؤية كل مشكلة تنتهي بالحل، وكل تجربة تفضي إلى نتيجة، مما قادهم إلى نوع من اليقين الذي لا يقبل نقضا ولا طعنا، نوع من الإيمان المطلق؟ والحق أنه لدى العلماء بالفعل إيمان لا يتزعزع، تكمن قوته في أنهم لا يفصحون عنه بوضوح أبدا.



ومع هذا، إذا طرحنا على أحد العلماء سؤالنا، «كيف يكون العلم ممكنا؟»، فمن المؤكد تقريبا أن الإجابة سيأتي موجز معناها كالآتي: «دعنا لا نخُض في غياهب الميتافيزيقا، إنها مجال محاط بالشبهات والسمعة السيئة، لست على استعداد لأن أغامر بسمعتي - كعالم جاد وكفء ومشهود له - فيراني أحد غارقا في هذا المستنقع». على أنها لم تكن إجابة آينشتين، فهو القائل «العجب العجاب أن العلم ينبغي أن يكون ممكنا». ولكن من أين يأتي هذا العجب؟

لعل الإجابة واضحة وضوح السؤال: العلم ممكن لأن ثمة نظاما في الواقع؟ إن القوانين التي تقيم بنية ذلك التمثيل الذي نشكله للواقع هي صورة ذهنية للنظام الخاص بالواقع. مثل هذه الإجابة يوعز بها العلم بأسره. لكن العلم بمفرده لا يستطيع أن يؤسسها ولا حتى أن يصوغها، لأن مثل هذا الإقرار يذهب إلى ما وراء التمثيل الخاص بالعلم. إن العلم مقتصر على مضمار الواقع الذي استُكشف بالفعل؛ لا يستطيع أن يخرج عن هذا المضمار ولا أن يضع تقويما له. إن الذهاب إلى ما وراء المعروف يعادل اقتراح فرض جديد في شأن ما هو غير معروف، وهذا يعني أن نغادر العلم ونقتحم الميتافيزيقا.

إنها، بعد كل شيء، عبارة بالغة البساطة، «الواقع منتظم»، وتكفي تماما لتأسيس العلم بأن تبدل الأوضاع. وهي تبدل الأوضاع لأننا قطعنا طريقا طويلا لكي نفهم ما هو العلم، والآن أصبح كل شيء واضحا: يملك الواقع أرفع نظام ممكن (ولكن هل «ممكن» المستعملة هنا ذات معنى؟) أو يمتلك بساطة تامة (ولكن هل «تامة» ذات معنى؟). هذا النظام بضربة واحدة ماسحة كاسحة يرتب الواقع، بدءا من أكثر جوانبه أولية وصولا إلى أكثر جوانبه تعقيدا، ومن مجالاته الصغرى إلى مجالاته العظمى. إمكان الوعي مكتوب بالفعل في القوانين التي تحكم المادة، وربما يمثل الزمان حاضنة لها حتى تخرج أفراخها. العلم ممكن لأن الوعي ينشأ عن نظام الواقع، الوعي الذي سوف يكتشف هذا النظام. إنه رجع الصدى العجيب لعبارة سقراط «اعرف نفسك»، التي تذهب بنا إلى نوعية من «معرفة المعرفة بأنفسنا»، حيث يعرف الواقع نفسه في الوعي البشري الذي ينتمي إلى هذا الواقع.



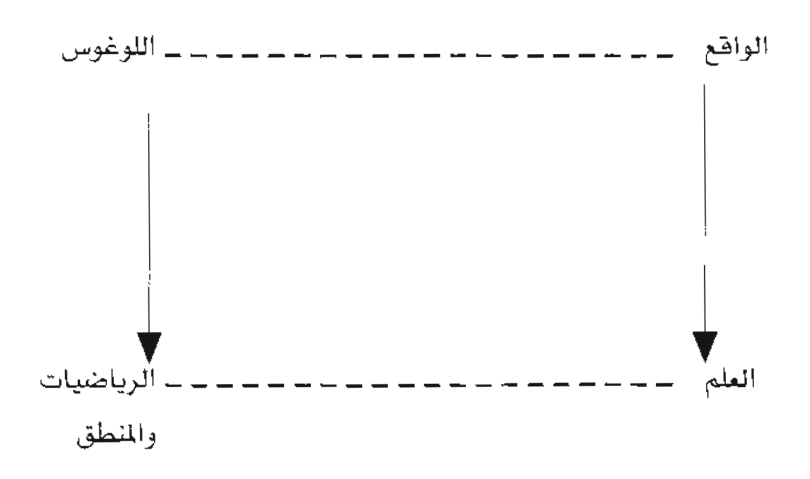
لا بد من التأكيد أن العبارة المذكورة عاليه لن يكون لها معنى إلا إذا كان ثمة شيء ما خارج الواقع بخلاف الواقع ذاته، إذا كان ثمة لوغوس. بالتأكيد، نحن نقتنع بوجود نظام كوني أكثر مما نقتنع بوجود لوغوس، بيد أن اللوغوس فقط هو الذي يهب النظام الكوني معنى. نظام العالم ذو طبيعة منطقية ورياضية، وأي شكل من أشكال النزعة الاسمية سوف يكون مرادفا للقول إنه إذا كان الكون منتظما فإن نظامه نابع من مباراة عشوائية للفروض والاستنباطات، نابع من خياراتي المتقلبة. وإلا فسوف أفترض أن الرياضيات آتية من الواقع (وهي تشكل «بنية فوقية superstructure» لهذا الواقع، غير أننا قد رأينا لماذا يعد هذا الوضع بدوره وضعا واهيا).

من الناحية الأخرى، يغدو كل شيء واضحا إذا كان اللوغوس كيانا متسقا مستقلا عن الواقع. ذلك النظام الذي يبدو مراوغا يتجسد في تناظر بين اثنين، بين نظام خالص وتغير أبدي. إذن من الطبيعي أن تمثيل الواقع الذي يتقدم به العلم المعاصر لا بد أن يمر من خلال المنطق والرياضيات. أما أن هذا النظام يمر بخبرة لغتنا الطبيعية والحس المشترك اللذين يعملان على التعبير عنه، فذلك لأن كليهما محصلة له. وبالتعويل على هذه الأسس الجديدة يمكن أن نعيد النظر في المقابلة القديمة بين النزعة الاسمية والنزعة الواقعية، أي في قدرة اللغة على توصيل المعنى، وهذه مشكلة ظل رسل حتى وقت حديث يعتبرها المشكلة السديدة الملحة.

هكذا يبدو الانفصال بين اللوغوس والواقع بوصفه الفرض الأكثر جاذبية والفرض الذي يحمل وعودا وثمارا أكثر من سواه، معا. وهو أيضا الفرض الوحيد الذي يبدو متفقا مع ما أسميناه الصدع، الفجوة القصوى بين الواقع وبين توصيفه النظري. وهذا يتيح لنا أن ندرك التناظر بينهما بوصفه اقتحاما جزئيا للواحد منهما في الآخر، مما يعطي معنى فوريا للجملة المفتاحية «الواقع منتظم»، التي تطرح بدورها الإجابة عن السؤال الضروري: كيف يكون العلم ممكنا؟ إن الصورة الذهنية لهذا الاقتحام، التي تتجلى على مستوى تمثيلاتنا، هي ببساطة دور الرياضيات في تشييد العلم. وحينئذٍ لا تعود الجوانب الصورية الفاحشة لها مفاجئة لنا.



كل هذا يشكل تخطيطا ميتافيزيقيا يمكن أن نبني على أساسه فلسفة جديدة للمعرفة. وسوف نوجز بنيتها في رسم تخطيطي، لأن هذا أفضل من الشرح المستفيض (الشكل ٣).



الشكل (٣): تمثيلات الواقع واللوغوس

في هذا الرسم البياني العلم تمثيل للواقع. الرياضيات والمنطق تمثيلان للوغوس. كل تمثيل يحرز تقدما بفضل جهود البشر؛ إنه يرث عن البشر حواشيه من اللايقين وخطاه التقدمية وتردداته. وعلى الرغم من هذا يمكن أن نشهد على ازدياد دور الرياضيات والمنطق (اللذين هما تمثيلان) في تشييد العلم (والعلم ذاته تمثيل). ويمكن تأويل هذا على أنه انعكاس - وهو في الحق تمثيل - لتناظر جواني أعلى بين الكيانين الرئيسيين، وهو انعكاس يرمز له الخط الذي يصل بينهما (الشكل ٣).

وقد أجد ما يغريني بتفصيل الحديث في طبيعة هذا الارتباط، بيد أني أتردد في أن أفعل هذا. كل ما يمكن أن أقوله يبدو وكأنه لا يلوي على شيء، غير سديد ومثيرا للشك؛ أو بتعبير آخر أكثر جدية وأكثر تفلسفا، يبدو خديجا مبتسرا.

كل خط مواز في رسم ما يبدو في المنظور الأعم كأنه يميل إلى الالتقاء بنقطة مشتركة متلاشية، والمنظورات التي أطرحها هنا ليست استثناء من هذا. الأفق ينحو إلى الضبابية والغيامة بالقرب من تلك النقطة، التي يراها



علماء الهندسة تحط في اللا نهاية وبلا ريب اقتربت منها كثيرا. من الأفضل لي أن أتوقف هنا، فأترك للآخرين مهمة تقصي السبيل وتحسينه وتصويبه أو التحري عن سبل أخرى. الشباب هم الأهل بالثقة في هذا، حتى يمكننا أن نسمع معزوفة الأمل، خلال مقطوعات لابد أن تُعزف بين الفينة والأخرى. من غير الملائم أن نسأل ما إذا كانت حفنة الأفكار التي جرى اقتراحها في هذا الفصل الأخير مثيرة للاهتمام أم لا. ما يهم فعلا هو أن نعرف أننا نتقدم صوب الأمام، وسوف يكون ثمة احتفاليات بالعقل، وربما يكون ثمة فلسفة سرعان ما تبدأ من جديد.



معجم المصطلحات

حاولنا في هذا الكتاب أن نتحاشى استخدام المصطلحات الفنية أو المتخصصة التي كثيرا ما يكون تأثيرها سلبيا في تبليغ الرسالة؛ إذا لم يكن المتلقي على دراية بها. وعلى الرغم من ذلك يتضمن المتن مجموعة من مثل هذه المصطلحات (أشرنا إليها عند ظهورها لأول مرة بعلامة نجمية)، ونورد في ما يلي قائمة كاملة بها، مع تعريف مختصر لكل مصطلح. (تشير العلامة الدائرية في التعريف إلى مصطلح آخر ضمن القائمة).

- بديهية Axiom
  في الأصل كانت قضية رياضية مسلما بها لأنها واضحة بذاتها ولا تتطلب برهانا. في الاستخدام المعاصر، هي قضية تنتمي إلى لغة صورية • يفترض صدقها بوساطة فرض.
- مشروع ديكارتي Cartesian Project
  في الفلسفة اسم أطلقه هيدغر وهوسرل على الفروض المؤسسة للفيزياء النظرية التي تمتد حتى ترسم حدودها، استنادا إلى أن الواقع الفيزيائي يمكن وصفه كاملا باستخدام قواعد رياضية.
- هوة – صدع Chasm
  مصطلح قدمه هذا الكتاب ليشير إلى أنه يستحيل على نظرية ما أن تصف كل جوانب الواقع الفيزيائي. وتنشأ الفجوة بين النظرية والواقع عن وجود تعارض بين تفرد الوقائع وبين الخاصة الاحتمالية الأساسية لنظرية الكوانتم. يشير المصطلح إلى الوقائع المرئية تماما وليس إلى الخصائص التي يمكن تصورها فقط، ولا يمكن تعيين قيمة صدق لها، كما هي الحال في الواقع المُحجّب الذي اقترحه ديسباغنا.
- إبدالية Commutativity
  في الرياضيات وميكانيكا الكوانتم، لإيجاد حاصل الضرب AB للمؤثرين • A وB، يجب أولا تطبيق المؤثر B على دالة معطاة u لتكوين الدالة الجديدة Bu، ثم تطبيق المؤثر A على الدالة الجديدة لينتج ABu هذا يعرّف تأثير AB على u. يقال إن المؤثرين A وB إبداليان عندما يكون AB=BA. عموما الفرق يسمى عاكس المؤثرين A وB.



● التساوق المفقود Decoherence

في ميكانيكا الكوانتم التساوق المفقود ظاهرة فيزيائية يُعزى إليها الاختفاء السريع جدا لتأثيرات التداخل الكوانتي• بين حالات مميزة على المستوى المجهري (الميكروسكوبي).

● مجال الفكر (بالألمانية) Denkbereich

انظر معنى المصطلح أمام المقابل الإنجليزي: مجال القضايا Domain of Proposition.

● حيود Diffraction

في البصريات، تكشف ظواهر الحيود عن ذاتها في تصويب خاصية انتشار الضوء في خطوط مستقيمة وتبين طبيعته التموجية. وبناء على ذلك فإن حافة الظل الناتج بوساطة مصدر ضوئي نقطي لا تكون حادة تماما عند ملاحظتها من قرب.

● مجال القضايا Domain of Propositions

في المنطق، هو إجمالي القضايا قيد الاعتبار بغرض الاستدلال في سياق معين. يمكن تعريفها باستخدام فئات مثلما فعل بول، أو تصاغ بوساطة لغة صورية على وجه التقريب.

● قاعدة إمبيريقية Empirical Rule

هذه قاعدة (يمكن أن تكون كمية)، لا تُشتق أو تُستنتج إلا بوساطة ملاحظات إمبيريقية داخل مجموعة ظواهر، ولا يعرَّف شرحها بدلالة قوانين•.

● طاقة Energy

في الفيزياء الكلاسيكية، الطاقة كمية فيزيائية تظل ثابتة في أي منظومة معزولة، وهي في الأغلب ذات مُركبتين، إحداهما تعتمد فقط على السرعة (طاقة حركية) والأخرى تعتمد على الموضع (طاقة جهد). في ميكانيكا الكوانتم، الطاقة كمية قابلة للملاحظة• تسمى أيضا الهاميلتونيان.

● الأثير Ether

وسط افتراضي يملأ كل الفراغ، افترضت الفيزياء الكلاسيكية وجوده، وكان افتراضه في الأصل لتوفير وسط لانتشار الضوء، ثم استُخدم



بعد ذلك عندما عُرف الضوء كمجال كهرومغناطيسي متذبذب لتوفير وسط ينتشر فيه هذا المجال. واختفى المصطلح كمفهوم علمي نتيجة لتجربة ميكلسون.

● صوري Formal

صفة الصورية، كما استخدمت في هذا الكتاب، تشير إلى المقابل المناقض لما هو حدسي أو مرئي، أو يمكن تمثله أو التعبير عنه بكلمات في لغة الحس المشترك. بدقة أكثر، يمكن أن يُعتبر مفهوم ما عن الواقع (في الفيزياء مثلا) صوريا إذا أمكن التعبير عنه أو فهمه بوساطة الرياضيات فقط. فالمنطق والرياضيات صوريان على المستوى الأول عندما يتعاملان مع علاقات، وليس مع أشياء ذات معنى ومحددة تحديدا تاما وفريدا (مثال ذلك، قضية تتعلق بالعلاقة بين خطوط مستقيمة (أشياء ذات معنى) تكون مكافئة تماما، طبقا لنظرية القطبيات، لقضية تتعلق بالنقط كأشياء ذات معنى). يمكن اعتبار المنطق والرياضيات صوريين تماما عندما يكون من الممكن رد أساسهما إلى منظومة بديهية * بلغة ما صورية *.

● لغة صورية Formal Language

في المنطق والرياضيات، تتكون لغة صورية ما من فئة من الرموز وفئة أخرى من قواعد دقيقة تعين كيفية اتحاد الرموز لتكون قضايا. ولا يفترض أن تكون هذه القضايا دالة على واقع ما أو أن يكون لها معنى وحيد.

● تاريخ History

في ميكانيكا الكوانتم، التاريخ هو تتابع خصائص مختلفة تحدث عند لحظات زمنية متتالية.

● تداخل Interference

في البصريات وميكانيكا الكوانتم، عندما تسلك موجة ما مسارين مختلفين (خلال أي من شقين متقاربين، كما في تجربة يونغ على سبيل المثال)، فإن شدتها (أو احتمال حدوثها في حالة الكوانتم) تختلف من مكان إلى آخر وتُظهر قيما عظمى ودنيا (هدُب مضيئة ومظلمة، في



حالة الضوء) ويشكل وجودها ظاهرة التداخل. يُعزى التداخل أساسا إلى مبدأ التراكب الذي على أساسه تُجمَع سعات الموجات التي سلكت مسارات مختلفة.

- تأويل — Interpretation

في الفيزياء، التأويل، كما عرفناه في هذا الكتاب، هو عملية استنتاج تمثيل منطقي لواقع مُلاحظ، انطلاقا من مبادئ صورية لنظرية ما (النسبية أو ميكانيكا الكوانتم) على نحو تمكن مقارنته بالحس المشترك والتواصل معه بلغة عادية؛ وينبغي أيضا أن يكون مناسبا لوصف التجارب التي تُجرى عمليا.

- القانون — Law

في العلم، نتيجة منطقية للمبادئ تثبت صحتها بالخبرة.

- معادلات ماكسويل — Maxwell's Equations

في الفيزياء (الديناميكا الحرارية)، هي مجموعة معادلات تحكم خصائص المجالات الكهربية والمغناطيسية وتطورها في سياق الزمن.

- لغة بعدية — Metalanguage

اللغة البعدية هي لغة صورية تعطي معنى أكبر للغة صورية أخرى. قضايا هذه الأخيرة إذن تصبح كلمات (علامات) في اللغة البعدية.

- قاعدة الإثبات أو الوضع — Modus ponens

في المنطق، احتمال بداية برهان جديد بمبرهنة ● مثبتة فعلا دون الحاجة إلى تبرير برهانها.

- كمية التحرك — Momentum

في الفيزياء الكلاسيكية، كمية التحرك هي حاصل ضرب الكتلة في السرعة. في ميكانيكا الكوانتم كل مُركّبة من مُركّبات كمية التحرك تعتبر كمية قابلة للملاحظة ●، أي مؤثرا ● يشمل عملية تفاضل. لهذا فإن كمية التحرك في هذه الحالة تعتبر مفهوما صوريا تماما.

- الموضوعية — Objectivity

يقال لظاهرة أو فكرة أو قضية معرفية إنها موضوعية، بدرجات متفاوتة، إذا كان وجودها لا يعتمد على العقل البشري. أدخل كانط



هذا المفهوم ودرسته العلوم الاجتماعية، لكنه لم يشكل مشكلة إلا مع ظهور ميكانيكا الكوانتم. ونشأ تساؤل بعد ذلك في شأن موضوعية مفاهيم معينة، وخصوصا مفهوم الدالة الموجية •. هل مثل هذه المفاهيم مرتبطة مباشرة بواقع فيزيائي، أم موجودة فقط خلال وعينا بها؟ أبدى بور أولا، ثم باحثون محدثون بعد ذلك. انحيازهم لمصلحة موضوعية النظرية.

● القابل للملاحظة Observable

في الفيزياء الكلاسيكية، يعتبر إحداثيا الموضع وكمية التحرك الكميتين الفيزيائيتين الأساسيتين. لذا فإن كمية فيزيائية عامة مثل الطاقة تكون دالة في هذين الإحداثيين. في ميكانيكا الكوانتم، يؤدي المؤثر • دور الكمية الفيزيائية بما يملكه من خصائص رياضياتية معينة (مثل الهيرميتية)، ويسمى كمية قابلة للملاحظة. وهذا هو أحد الجوانب الأكثر صورية للنظرية.

● مؤثر، عامل إجراء Operator

في الرياضيات وفي ميكانيكا الكوانتم، المؤثر A هو عملية رياضية يمكن أن تؤثر في دالة معطاة u (دالة موجية عامة) فتولد دالة أخرى Au. المؤثرات الخطية الأكثر أهمية تقريبا، هي تلك التي تحفظ حاصل جمع الدالتين وحاصل ضرب الدالة في مقدار ثابت.

● باراديم ، نموذج إرشادي Paradigm

في الإبستمولوجيا، مفهوم أدخله توماس كون. الباراديم إنجاز علمي مميز أصبح أنموذجا جديرا بالمحاكاة من جانب باحثين آخرين. إن تفسير تطور البحث بدلالة الباراديمات يقابل تفسير تقدم العلم بدلالة المبادئ. وكلمة «باراديم» غير المحددة جيدا في الأصل، يمكن أن نجدها حاليا في لهجات ورطانات عديدة.

● وضعية Positivism

في الفلسفة مذهب وضعه أوجست كونت وتبعه منافسه جون ستيوارت مل. في الإبستمولوجيا، يعبر المصطلح عن وجهة النظر التي على أساسها يجتمع المعنيون بالأمر على معيار للمعرفة الحقيقية (يفترض



مصداقية تأثيره، وتمتعه بالمواصفات المطلوبة... إلخ، مع كل الصعوبات التي تنشأ عن التحقق من مثل هذه الشروط). في ميكانيكا الكوانتم، الوضعية هي المبحث الذي ينكر في الأساس الواقع الموضوعي للدالة الموجية ويزعم أن هذه الدالة لا تمثل إلا المعلومات المتاحة للملاحظ.

- برغماتية Pragmatism

هذا المصطلح، في أقوى معانيه، هو مذهب هيوم الفلسفي الذي على أساسه تأتي الوقائع أولا، وتكون أصل الفكر واللغة، ويكون منبع النظام الذي يحكمها صعب المنال من حيث المبدأ.

- مبدأ Principle

في العلم، قضية شاملة تحجم الواقع الفيزيائي.

- مبدأ التتام Principle of Complementarity

هو أحد المبادئ الأساسية في ميكانيكا الكوانتم، صاغه نيلز بور. ووفقا لهذا المبدأ، في وصف واقع معين، لا يمكن استخدام مفاهيم معينة غير متفقة معا في آن واحد. مثال ذلك: موضع جسيم وسرعته، أو مجال الضوء وطبيعته الجسيمية. في الصياغات الحديثة المعدلة يظل هذا القصر قائما، لكن فقط باعتباره نتيجة لمبادئ أخرى.

- مبدأ العطالة، مبدأ القصور الذاتي Principle of Inertia

هذا أحد المبادئ الأساسية في الميكانيكا الكلاسيكية، وهو بصياغة نيوتن ينص على أن مركز الكتلة (يعرف أيضا بمركز الجاذبية) لجسم لا يقع تحت تأثير أي قوة يتحرك في فراغ مطلق على طول خط مستقيم، بسرعة منتظمة بالنسبة إلى زمن مطلق. تتحقق الخاصة نفسها في كل منظومة مرجعية (غاليلية)، تتحرك بذاتها بسرعة منتظمة ومن دون دوران بالنسبة إلى مكان مطلق. في نظرية النسبية الخاصة، يطبق مبدأ القصور الذاتي في منظومات إسناد غاليلية متحركة من دون دوران وبسرعة منتظمة بالنسبة إلى بعضها البعض. ومن ثم فهي تشكل مجموعة لا تعتمد على المكان والزمان المطلقين.

- مبدأ أقل فعل Principle of minimal action

هو المبدأ الذي يمكن أن نستنتج منه معادلات حركة نظام كلاسيكي. قدم لاغرانغ هذا المبدأ في القرن الثامن عشر وعممه هاملتون. وهو ينص (في أبسط حالاته) على أن الحركة تجعل قيمة تكامل معين، يعرف بالفعل، أقل ما يمكن، ونستطيع حسابه بمعرفة كل من طاقتي الحركة والجهد.

- مُسقِط Projector

في الرياضيات، وخاصة في تطبيقاتها في ميكانيكا الكوانتم، يعرف مُسقط ما (P) بأنه مؤثر من نوع خاص. عندما يؤثر في دالة u (دالة موجية، مثلا) فإنه يولد دالة أخرى v، يرمز إليها على الصورة Pu. أهم ما يميز P أن يظل هو نفسه مع التتابع والتكرار: P2u = Pu. هذه الخاصية يتمتع بها أيضا المسقط لنقطة في فضاء ثلاثي الأبعاد على مستو، من هنا جاءت التسمية مُسقِط. القابل للملاحظة الكوانتي (الكميةُ الفيزيائية) المصاحب لمسقط P لا يأخذ إلا القيمتين واحد 1 أو 0، وهما المماثلتان للقيمتين «صادق» و«كاذب». وهذه الحقيقة ينتج عنها الدور المهم الذي تؤديه هذه المؤثرات في المسائل المشتملة على منطق.

- خاصية Property

في ميكانيكا الكوانتم، تعني الخاصية أن كمية فيزيائية معينة (قابلة للملاحظة •) تقع ضمن مدى قيم ممكنة في لحظة معينة. الخصائص هي العناصر الأساسية لأي وصف للفيزياء.

- حساب القضايا Propositional Calculus

في المنطق، معالجة قضايا لغة صورية معينة بمساعدة عمليات منطقية مثل «ليس»، «و»، «أو»، وإدخال علاقات تكافؤ أو لزوم بين هذه القضايا.

- الواقعية Realism

الصور المختلفة للواقعية تتمثل في مذاهب تنتمي إلى فلسفة المعرفة. تفترض «الواقعية الأفلاطونية» وجود عالم مُثُل أكثر واقعية من العالم الخاص بنا. «الواقعية الرياضية»، كموقف مماثل، تعتقد في الوجود



المستقل لكيان تكتشفه الرياضيات لكنها لا تخلقه. «الواقعية الفيزيائية» تأخذ عدة صور مختلفة. كل هذه المذاهب تسلم بوجود واقع فيزيائي مستقل عن العقل البشري (على العكس من المثالية)، كما أنها غالبا ما تقبل بأن يكون هذا الواقع في حد ذاته معروفا (على نقيض ما تتمسك به الوضعية ومذاهب التمثل). وكان من شأن صعوبات التوفيق بين الواقعية وميكانيكا الكوانتم أنها حفزت برنار ديسباغنا على أن يقدم فكرة «الواقع المُحجب»، التي تحد مما قد يكون معروفا من جوانب الواقع.

- معادلة شرودنغر Schrödinger's Equation

في ميكانيكا الكوانتم، تعبر معادلة شرودنغر عن تغير الدالة الموجية • كدالة في الزمن، وهي، بهذا المعنى تؤدي دور الديناميكا. ويندمج في هذه المعادلة بطريقة جوهرية كمية فيزيائية خاصة قابلة للملاحظة •، وهي الهاميلتونيان • أو الطاقة •.

- ثورة علمية Scientific Revolution

هذا المفهوم أدخله توماس كون في تاريخ العلم ليشير إلى التغيرات التي تمثل انقطاعات، والتي تحدث في أعقاب كشوف علمية كبرى. يرى كون أن كلا من هذه الاكتشافات يكون مصحوبا بانبثاق نموذج إرشادي • جديد يحدد معالم هذا الانقطاع عن الماضي بسبب «الثورة» المعينة. من منظور مبادئ • العلم، نجد أن مثل هذه «الثورة» تكمن غالبا في مراجعة هذه المبادئ وتعميمها في نطاق معين للتطبيقات. إن المبادئ الأسبق تعاود الظهور بوصفها محصلات للمبادئ الجديدة، ثم تكتسب بعد ذلك وضع القوانين •.

- الزمكان Space-time

في الفيزياء، يشير هذا المصطلح إلى اتحاد المكان والزمان في منظومة واحدة تُدرَك كوحدة أولية، وتُمثل رياضيا بمكان مجرد، رباعي الأبعاد. وهناك طرق عديدة لإدخال إحداثيات في هذا المكان المجرد، يفرض كل منها بنية خاصة للمكان والزمان يمكن التحقق من صحتها إمبيريقيا عن طريق شخص يضطلع بالرصد في منطقته المجاورة.



● لفّ — Spin

هذا المصطلح يعني كمية مميزة لمنظومة كوانتية، مماثلة لكمية التحرك الزاوي. وهو متجه لا يمكن تعيين سوى مقداره وإحدى مُركّباته، وتكون قيمتهما مضاعفات المقدار $h/4\pi$، حيث h ثابت بلانك. على المستوى الماكروسكوبي [العياني]، يبين اللف ما إذا كانت المنظومة تدور حول نفسها أم لا، على أن هذا التفسير ليس صحيحا بالنسبة لجسيم.

● مبرهنة — Theorem

في المنطق والرياضيات، المبرهنة قضية يؤسس صدقها عن طريق برهان أودليل مع الافتراض بأن كل البديهيات • صادقة.

● صدق — Truth

في المنطق، ما يميز الصدق هو احتمال تعيين قيمة ١ (صادقة) أو ٠ (كاذبة) لقضية ما. في المنطق والرياضيات، يفترض أن تكون البديهيات • صادقة عن طريق فرض، والمبرهنة • هي القضية التي يؤسس صدقها، بالأحرى، بواسطة برهان أو دليل. في العلوم الطبيعية، وخاصة في الفيزياء، تعتبر الوقائع المشاهدة صادقة. في ميكانيكا الكوانتم، هناك خصائص • صادقة دون أن تكون وقائع ملاحظة مباشرة، وإنما تكون نتيجة لتلك الوقائع.

● مبدأ اللايقين — Uncertainty Principle

اكتشفها هيزنبرغ، وهي كما يقال أحيانا، لا تمثل مبدأ لميكانيكا الكوانتم وإنما هي نتيجة لتلك المبادئ. أفضل حالة معروفة تنطوي على اللايقين الإحصائي Δx لإحداثي موضع x واللايقين Δp للمركبة المناظرة لكمية التحرك: يستحيل أبدا أن يكون حاصل الضرب $\Delta x \Delta p$ أقل من $h/4\pi$، حيث h ثابت بلانك. كنتيجة لذلك، الزوال الموجية التي تؤدي إلى قيم دقيقة بصورة متزايدة للإحداثي x تنتج في الوقت نفسه قيما لايقينية بصورة متزايدة لكمية التحرك.

● عالم المقال — Universe of Discourse

انظر مجال القضايا Domain of Proposition



- دالة موجية　　　　　　　　　　　　　　　Wave Function

في ميكانيكا الكوانتم، تعرف حالة منظومة على أنها معطى، أو معلومة، يمكن أن يحسب منها احتمال كل خاصية. غالبا ما تصاغ هذه المعلومة في صورة رياضية بواسطة دالة (هي الدالة الموجية) حججها هي إحداثيات الجسيمات المكونة للمنظومة. وبهذا تكون الدالة الموجية كمية صورية تحتوي على ما هو مطلوب للتعبير عن كل شيء يمكن أن يقال عن المنظومة في أي لحظة زمنية معينة.

- رد (=اختزال) الدالة الموجية　　　　　　　Wave function reduction

هذا هو أحد الفروض الرئيسية لتفسير ميكانيكا الكوانتم طبقا لنيلز بور. بعد قياس منظومة فيزيائية كوانتية (ذرة، مثلا) باستخدام نبيطة قياس، يُفترض أن تتغير منظومة الدالة الموجية فجأة. عندئذ يتم تحديد صيغتها الجديدة بواسطة نتيجة القياس كما بينتها أداة القياس. فلا يعدو الرد (=الاختزال) أن يكون عبارة عن قاعدة عملية لحساب الاحتمالات، ويظل صحيحا في معظم التأويلات الحديثة دون ضرورة لاعتبارها بمنزلة نتيجة لأي تأثير فيزيائي خاص.





المؤلف في سطور

رولان أومنيس

* أستاذ الفيزياء النظرية المتفرغ، بكلية العلوم، جامعة باريس الجنوبية.
* من أبرز علماء فيزياء الكوانتم، وله جهود مؤثرة في تطويرها، لاسيما مقارباته للتواريخ الكوانتية المتسقة والتساوق المفقود في فيزياء الكوانتم.
* فيلسوف علم معني برفع لواء مذاهب الواقعية، وتوافق الحس المشترك مع فلسفة العلم المعاصرة والمستقبلية.
* من أهم مؤلفاته: «مقدمة لفيزياء الجسيمات» ـ ١٩٧١، «فلسفة العلم المعاصر» ـ ١٩٩٤، «تفسير ميكانيكا الكوانتم» ـ ١٩٩٤، «فهم ميكانيكا الكوانتم» ـ ١٩٩٩، «واقعيات متقاربة: نحو فلسفة مشتركة للفيزياء والرياضيات» ـ ٢٠٠٤ .
* يؤكد أنه سائر في الطريق الذي شقته مدرسة نيلز بور.

المترجمان في سطور

أ. د. أحمد فؤاد باشا

* أستاذ الفيزياء المتفرغ، بكلية العلوم، جامعة القاهرة.
* النائب السابق لرئيس جامعة القاهرة، والعميد الأسبق لكلية العلوم – جامعة القاهرة.
* عضو مجمع اللغة العربية بالقاهرة، وعضو المجمع العلمي المصري، وعضو المجلس الأعلى للشؤون الإسلامية، وعضو اللجنة القومية للفيزياء البحتة والتطبيقية، ومقرر اللجنة القومية لتاريخ وفلسفة العلم بأكاديمية البحث العلمي بمصر، وعضو اللجنة الوطنية للأخلاقيات الحيوية في اليونسكو، بالإضافة إلى عضوية العديد من اللجان والهيئات العلمية الأخرى.
* أثرى المكتبة العربية حتى الآن بنحو ستين كتابا مؤلفا أو محققا أو مترجما عن الإنجليزية (منفردا، أو بالاشتراك مع آخرين)، وشارك في العديد من المؤتمرات والندوات المتخصصة في العلوم الفيزيائية وقضايا الفكر العلمي والفلسفي، وأسهم في نشر الثقافة العلمية وتبسيط العلوم بمئات المقالات والأحاديث الإذاعية والتلفزيونية.



* صدر له عن سلسلة عالم المعرفة ترجمة كتاب دونالد ر. هيل «العلوم والهندسة في الحضارة الإسلامية»، العدد ٣٠٥ يوليو ٢٠٠٤، وكتاب سام تريمان «من الذرة إلى الكوارك»، العدد ٣٢٧، مايو ٢٠٠٦، وهوالكتاب الذي حاز جائزة خادم الحرمين الشريفين للترجمة في دورتها الأولى.

* من مؤلفاته وترجماته (منفردا أو بالاشتراك): الميكانيكا العامة وتطبيقاتها (١٩٧٧)، الديناميكا الحرارية (١٩٨٠)، التراث العلمي للحضارة الإسلامية ومكانته في تاريخ العلم والحضارة (١٩٨٣)، أساسيات العلوم المعاصرة في التراث الإسلامي: دراسات تأصيلية (١٩٩٧)، البصريات (١٩٩٨)، فيزياء الجوامد (٢٠٠٠)، الفيزياء الحيوية (٢٠٠١)، أساسيات العلوم الفيزيائية (٢٠٠٤)، في التنوير العلمي (٢٠٠٥)، الفيزياء العملية وتجارب المحاكاة (٢٠٠٧)، محاضرات في تاريخ العلم وفلسفته (٢٠٠٧)، ومستقبليات الفيزياء في عالم متغير (٢٠٠٨).

أ.د. يمنى طريف الخولي

* أستاذ فلسفة العلوم، ورئيس قسم الفلسفة، بكلية الآداب - جامعة القاهرة.

* عضو اللجنة القومية لتاريخ وفلسفة العلم بأكاديمية البحث العلمي في مصر.

* زميل زائر بمركز الأبحاث الدولي للدراسات اليابانية (نيشي بنكن) بكيوتو.

* شاركت في العديد من المؤتمرات الدولية، والندوات المتخصصة، في فلسفة العلوم والفكر الفلسفي المعاصر.

* أسهمت في نشر الثقافة العلمية وأصول التفكير العلمي والعقلاني بالعشرات من المقالات والبرامج التلفزيونية والمحاضرات العامة.

* أثرت المكتبة العربية بأكثر من عشرين كتابا، بين تأليف وترجمة. من مؤلفاتها: «العلم والاغتراب والحرية: مقال في فلسفة العلم من الحتمية إلى اللاحتمية» ١٩٨٧ - ط٣، ٢٠٠٦، «فلسفة كارل بوبر: منهج العلم... منطق العلم» ١٩٨٩- ط٢، ٢٠٠٣، «مشكلة العلوم الإنسانية» ١٩٩٠ - ط ٥، ٢٠٠٢؛ «الحرية الإنسانية والعلم: مشكلة فلسفية»، ١٩٩٠، «الوجودية الدينية»، ١٩٩٨ - ط٣، ٢٠٠٧، «الطبيعيات في علم الكلام: من الماضي

إلى المستقبل»، ١٩٩٥- ط٢، ١٩٩٨، «بحوث في تاريخ العلوم عند العرب - ١٩٩٨»، «الزمان في الفلسفة والعلم» ١٩٩٩، «أمين الخولي والأبعاد الفلسفية للتجديد»، ٢٠٠٠، «ركائز في فلسفة السياسة»، ٢٠٠٨ . بخلاف دراسات وبحوث منشورة في دوريات محكمة.

* صدر لها عن سلسلة عالم المعرفة مؤلفها «فلسفة العلم في القرن العشرين: الأصول... الحصاد... الآفاق المستقبلية»، العدد ٢٦٤، ديسمبر ٢٠٠٠، وترجمة كتاب كارل بوبر «أسطورة الإطار: في دفاع عن العلم والعقلانية»، العدد ٢٩٢، مايو ٢٠٠٣، وترجمة كتاب ليندا جين شيفرد «أنثوية العلم: العلم من منظور الفلسفة النسوية»، العدد ٣٠٦، أغسطس ٢٠٠٤ . كما راجعت ترجمة كتاب ديفيد رزنيك «أخلاقيات العلم»، العدد ٣١٦، يونيو ٢٠٠٥ .





هذا الكتاب

يصحبنا المؤلف في رحلة شائقة بالغة الجرأة، تبدأ من مدارس الفلسفة الإغريقية القديمة وصولا إلى الحياة النابضة في مختبرات العلوم النووية على مشارف القرن الواحد والعشرين، والأسئلة الفلسفية الملحة التي لا تفارق العلماء أبدا، فتكشف جدليتها عن جوهر تطور الأفكار المتعلقة بحقيقة عالم الطبيعة ومسببات أحداثه وظاهراته المختلفة.

إنه استعراض ممتع... عميق وشامل لتاريخ الفلسفة والمنطق والرياضيات والفيزياء، يعلمنا كيف أن العلم والفلسفة يمثلان وحدة معرفية متكاملة، فلا يفهم أحدهما حق الفهم دون الآخر. ويسفر هذا عن أسس مستقبلية جديدة لنظرية المعرفة التي تستطيع أن تفسر لنا كيف يمكننا، نحن البشر، أن نفهم صميم العالم الذي نحيا فيه، ونعايشه بحسنا المشترك الذي لا يمكن أبدا التهوين من شأنه وهو منطلق وجودنا في هذا الكون أصلا.

يعمل المؤلف على تجلية الصورة الضبابية للصلة بين عالم الفيزياء الكلاسيكية وعالم الكوانتم، وتفكيك الصورية التي انطلقت من العلوم الأساسية، ثم طغت وبغت في أعطاف النسق العلمي، عاصفة بكل ما هو حدسي ومحسوس وواقعي ويسهل تمثله وتمثيله؛ حتى أصبح العلم غريبا ومغتربا عن عالمنا العيني المعيش.

إن قطاعا كبيرا من هذا الكتاب يقتفي أصول النزوع نحو المقاربة الصورية، وضرورتها في المنطق الرياضي وفيزياء النسبية والكوانتم، وفي النظريات التي تصف كل ما يشكل الكون والفضاء والجسيمات. أما القطاع الآخر من الكتاب فيبين كيف يمكن تفكيك هذه الصورية والتغلب عليها، واستعادة عالمنا الإنساني الحميم، فلا يعود العلم غريبا ومغتربا عنه.

وفي خاتمة المطاف، ينجح المؤلف في التقريب بين دور الحس المشترك في تعريف العالم الكلاسيكي، والدور الذي تؤديه الرياضيات الصورية المعقدة حاليا لوصف العالم في أساسياته الأولية بدقة فائقة، حتى يمكن أن نجد الحس المشترك والواقع الكوانتي متوافقين، بحيث يمكننا البدء في النظر إلى العالم بأي منهما، كل منهما يفضي في النهاية إلى الآخر.

ISBN 978-99906-0-236-4

رقم الايداع (٢٠٠٨/٠٥٧)